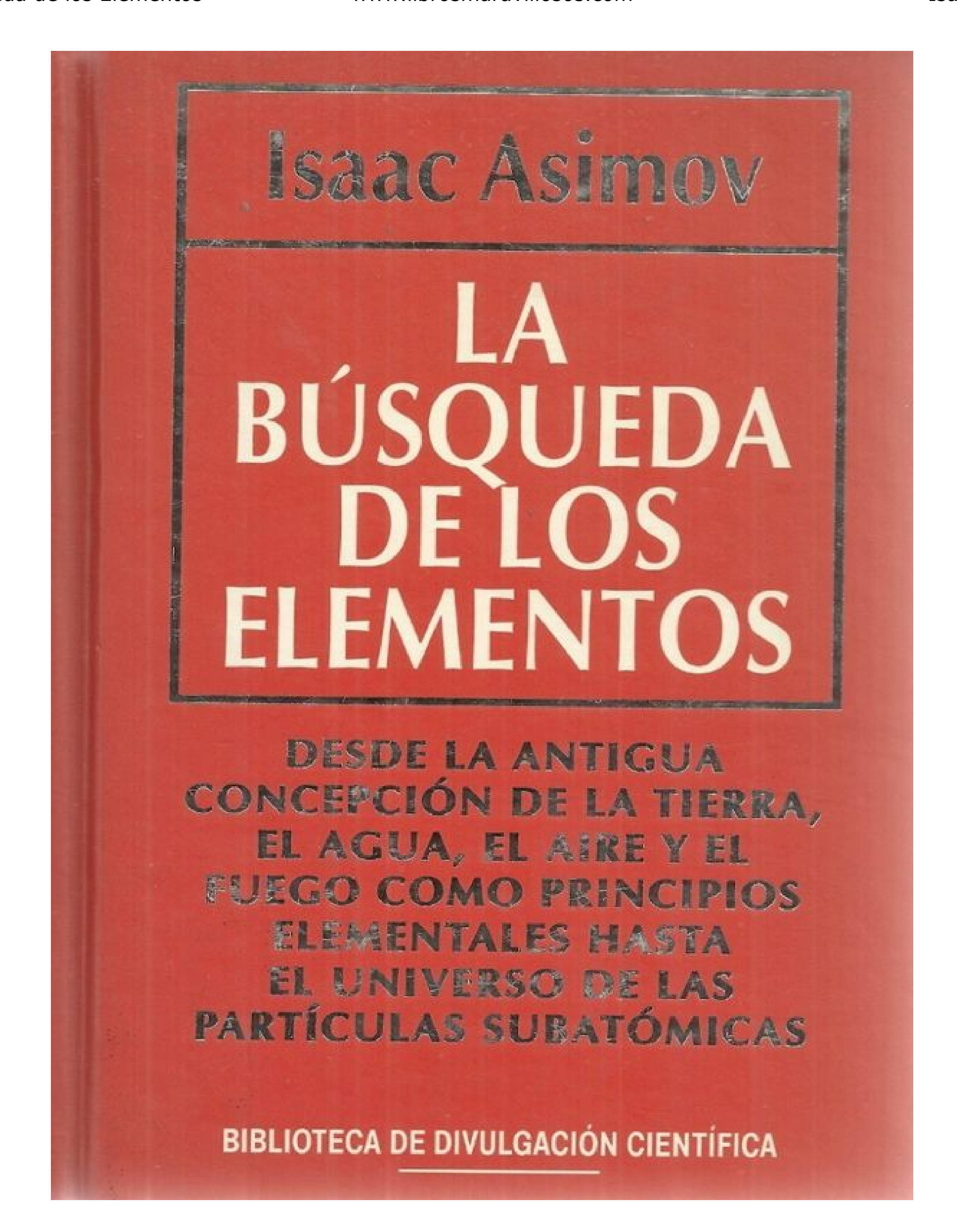

Isaac Asimov
LA BÚSQUEDA DE LOS ELEMENTOS
DESDE LA ANTIGUA CONCEPCIÓN DE LA TIERRA, EL AGUA, EL AIRE Y EL FUEGO COMO PRINCIPIOS ELEMENTALES HASTA EL UNIVERSO DE LAS PARTÍCULAS SUBATÓMICAS
BIBLIOTECA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Introducción

Basta con el título del libro, para saber el tema y objetivos del libro. Sabiendo quien es el autor, ya está todo aclarado. Un buen libro de historia de la ciencia. Que nos lleva por todo el desarrollo de la búsqueda de los distintos elementos de que se compone la naturaleza, y por último del desarrollo de la tabla periódica, poniendo orden y a cada elemento en su lugar.

En este libro, Isaac Asimov nos cuenta las investigaciones realizadas por el hombre durante 2.600 años para identificar la materia de que está compuesto el Universo.

Desde Tales de Mileto hasta Seaborg, de California, de la alquimia al ciclotrón, desde la búsqueda del secreto de convertir el plomo en oro a la fabricación de los elementos artificiales, todo ello ha constituido un cautivador relato de descubrimientos alocados, de falsificaciones y de ideas brillantes.

Entre todos los héroes que han luchado por poner al día nuestro saber acerca de los elementos, podemos citar a Lavoisier, a Mendeleiev, a los Curie... Pero también ocupan un destacado lugar los pensadores griegos; los alquimistas, con su piedra filosofal y sus elixires de larga vida; la magia en general.

Isaac Asimov fue uno de los más grandes escritores de ciencia-ficción y de divulgación científica de todos los tiempos. En cuanto a la ciencia-ficción, él fue uno de los *Tres Grandes*, siendo los otros dos Robert Heinlen (que falleció en 1988) y Arthur Charles Clarke. Su producción abarcó una inmensa variedad de temas: ciencia-ficción, fantasía, misterio, astronomía, física, química, bioquímica, biología, historia, humor, la Biblia, etc.

Siempre se destacó por su facilidad para hacer comprensibles ideas y conceptos complejos, así como por el gran volumen de su producción, escribiendo casi 500 libros.

Asimov nació el 2 de enero de 1920 en Petrovichi (URSS). A los tres años su familia se traslado a los Estados Unidos estableciéndose en Brooklyn. A la edad de 19 años publicó su primer relato corto de ciencia-ficción (*Abandonados cerca de Vesta*, Amazing Stories, enero 1939) empezando una prolongada carrera literaria.

A la edad de 28 años obtuvo su Ph.D. en Bioquímica por la Universidad de Columbia. En 1950 se incorporó a la Universidad de Boston; sin embargo en 1958 abandonó la universidad para dedicarse íntegramente a escribir. Más tarde fijó su residencia en Manhattan.

Asimov murió el 6 de abril de 1992 de un fallo cardíaco y hepático.

Capítulo 1
El Prodigio de los Griegos

Hace veintiséis siglos, en el año 640 a de JC, nació uno de los hombres más notables de toda la Historia. Se llamaba Tales, y había nacido en la ciudad de Mileto, en la costa occidental de Asia Menor, que en aquel tiempo formaba parte de Grecia.

Tales poseía la clase de mente que se ocupa de todo, y con brillantes resultados. Como hombre de Estado, persuadió a las diversas ciudades griegas de la Jonia a unirse para protegerse mutuamente contra los reinos no griegos del interior de Asia Menor. Como científico, realizó importantes descubrimientos en Matemáticas y Astronomía. En realidad, Tales puede ser considerado el fundador del razonamiento matemático. Elaboró un sistema para derivar nuevas verdades matemáticas de aquellas ya conocidas. Este método, llamado deducción (del latín *deductio, onem*, que significa llevar, conducir), constituye la base de las matemáticas modernas, por lo que Tales, puede ser considerado como el primer auténtico matemático.

Tales aprendió Astronomía de los babilonios, cuyos estudios sobre los cielos les permitieron confeccionar un calendario de las estaciones y explicar los eclipses de sol.

A los pueblos antiguos, el súbito oscurecimiento de la Tierra por el eclipse era algo que resultaba aterrador. Suponían que algún monstruo se estaba tragando al Sol. La gente salía corriendo de sus casas hasta la plaza del pueblo, golpeando recipientes y gritando atronadoramente para espantar al monstruo. Dado que el Sol siempre reaparecía al cabo de unos minutos, los golpeadores de recipientes estaban seguros de que eran sus esfuerzos los que habían salvado al Sol.

Los astrónomos babilonios fueron los primeros en descubrir que la Luna, al pasar delante del Sol, era responsable de los eclipses. Después de haber calculado los movimientos de la Luna y el Sol, los astrónomos asombraban a la gente prediciendo con exactitud cuándo tendría lugar un eclipse.

Tales, después de regresar a su país desde Babilonia, presentó la nueva astronomía a los griegos. El año 586 a. de JC, predijo que tendría lugar, en Jonia, un eclipse total de Sol. Cuando sucedió, el eclipse se produjo en el momento en que los

ejércitos de dos pueblos cercanos, los medos y los lidios, estaban a punto de entrar en combate. Ambos ejércitos quedaron tan asustados por el oscurecimiento del Sol que, inmediatamente, firmaron un tratado de paz.

Tales fue conocido en toda Grecia como un gran estudioso. Cuando los escritores griegos redactaron unas listas de sus «siete sabios», todos ellos pusieron a Tales de Mileto en el primer lugar de la lista.

Fue el primer «filósofo» griego (lo cual significaba «amante de la sabiduría»). Hubo quienes se mofaron de su inclinación filosófica y le decían: «Si eres tan sabio, ¿por qué no eres rico?» Tales, según sigue el relato, silenció a aquellos burlones con un perspicaz asunto de negocios. Tras deducir, conforme a sus estudios, que el clima del próximo año sería bueno para la cosecha de aceitunas, compró todas las prensas (empleadas para extraer el aceite de oliva) y, después, exigió elevados precios por su empleo. Aquel golpe de audacia le convirtió en un hombre rico. Pero pronto dejó los negocios. Como filósofo, amaba la sabiduría más que el dinero.

También fue el original «profesor distraído». Una noche, mientras andaba por la carretera estudiando las estrellas, se cayó en una zanja. Una criada que le ayudó a salir de allí, se rió de él:

—He aquí un hombre que desea estudiar el Universo y que, sin embargo, no puede ver dónde pone sus propios pies...

Y era realmente cierto lo de que Tales deseaba estudiar el Universo. En realidad, de todas sus contribuciones a la Ciencia, quizá la más notable radicó en el planteamiento de una sencilla pero profunda pregunta: ¿De qué está hecho el Universo? Los hombres han estado persiguiendo la contestación a esta pregunta de Tales durante miles de años, a partir del momento en que la planteó por vez primera.

La historia de la búsqueda para responder a esta pregunta constituye una de las mayores historias de detectives de la Ciencia. Y es la historia con la que este libro se halla relacionado.

LOS ELEMENTOS GRIEGOS

Tales deseaba saber: ¿De qué materia está hecho el Sol, la Luna, las estrellas, la Tierra, las rocas, el mar, el aire y los seres vivos sobre el planeta? Resultaba la cosa

más natural del mundo suponer (e incluso los científicos modernos lo han supuesto así), que si se rompen todas las cosas hasta su última naturaleza, se encontraría que todas ellas estaban formadas por una sustancia simple, es decir, de un elemental bloque de construcción.

La palabra «elemento» procede de la palabra latina *elementum*. Nadie conoce el origen de esta palabra latina. Una sugerencia es que los romanos dijeran de algo que era «tan sencillo como L-M-N-», lo mismo que nosotros decimos «fácil como el A-B-C». De cualquier forma, *elementum* llegó a significar algo simple con el que están hechas las cosas complejas.

Tales, tras mucho pensar, decidió que el elemento del que estaba hecho todo el Universo era el agua. En primer lugar, existe una gran cantidad de agua sobre la Tierra, auténticos océanos de ella. En segundo lugar, cuando el agua se evapora, aparentemente, se convierte en aire. El agua, de modo parecido, parece volver a transformarse en agua en forma de lluvia. Finalmente, el agua que cae al suelo puede, llegado el caso, endurecerse, pensó, y de esta manera convertirse en suelo y rocas.

Otros griegos tomaron la interesante especulación de Tales, y llegaron a diferentes conclusiones. Su propio discípulo, Anaximandro, pensó que el agua no podía ser, posiblemente, el bloque edificador del Universo, porque sus propiedades eran demasiado específicas. Los materiales que todos conocían resultaban variados y poseían numerosas propiedades contradictorias. Algunos eran húmedos y otros secos; algunos fríos y otros calientes. Ninguna sustancia conocida podía combinar todas esas opuestas cualidades. Por tanto, el elemento básico del Universo debería ser alguna misteriosa sustancia que no se pareciese a ninguna con la que el hombre estuviese familiarizado.

Anaximandro, naturalmente, no podía describir esa sustancia, pero le dio un nombre: *apeiron*. Sostuvo que el Universo se había formado de la unión de un suministro ilimitado de *apeiron*. Algún día siempre y cuando el Universo fuese destruido, todo se convertiría de nuevo en *apeiron*.

La mayor parte de los filósofos griegos no estuvieron de acuerdo con esta idea. El decir que el Universo estaba compuesto por algo que existía sólo en la imaginación, en su opinión, no constituía una respuesta.

Anaxímenes, un joven filósofo de Mileto, vio en el elemento aire, en lugar del agua, el principio del Universo. Dado que todo estaba rodeado por el aire, razonó que la Tierra y los océanos estaban formados por la congelación o condensación del aire.

Heráclito, un filósofo de Éfeso, cerca de Mileto, tuvo otra idea. Insistió en que el último elemento era el fuego. El rasgo más importante y universal del Cosmos, afirmó, era el cambio. El día sigue a la noche y la noche al día. Una estación da paso a otra. La superficie de la Tierra está siendo continuamente alterada por los ríos y los terremotos. Los árboles, y las estructuras se elevan y después desaparecen. Incluso el hombre era efímero: nacía, crecía y, finalmente, moría. Toda esta mutabilidad quedaba definida del mejor modo de todos a través del fuego. Esta «sustancia», continuamente cambiante de forma, que resplandece y luego se apaga, representaba la esencia del Universo, en opinión de Heráclito. Así, concluyó que el Universo debía de estar hecho de fuego en sus diversas manifestaciones.

Esta discusión hubiera durado largo tiempo, mientras una sustancia tras otra fuese proclamada el elemento principal del Universo, si no hubiese aparecido alguien con una idea tan hermosa que redujo al silencio a los porfiados defensores. La idea procedió de la escuela del famoso Pitágoras.

Pitágoras, un filósofo griego que había emigrado, hacia el año 530 a. de JC, a la ciudad de Crotona, en Italia meridional, fundó una escuela mística de filosofía basada en el estudio de los números. La escuela realizó importantes descubrimientos respecto de los números irracionales (como, por ejemplo, la raíz cuadrada de dos), la naturaleza del sonido y la estructura del Universo. El propio Pitágoras tal vez fuese el primer hombre en sugerir que la Tierra era redonda y no plana. Naturalmente, también es famoso por el ser el autor del teorema pitagórico, sobre el triángulo rectángulo, pero no es seguro que fuese el primero en proponerlo.

No obstante, nuestro héroe no es Pitágoras, sino un brillante miembro joven de su escuela llamado Empédocles. Al ponderar el problema de qué estaba hecho el Universo, apareció con una proposición que, claramente, combinaba los puntos de vista de los campeones de los elementos simples. ¿Por qué insistir respecto de que todo estaba hecho sólo de un elemento? ¿No podía haber varios elementos? En realidad, esta idea tenía mayor sentido. Explicaría las diferentes propiedades de la

materia que se observaban. Pensando en estas propiedades, Empédocles decidió que debía de haber cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego, que representasen, respectivamente, lo sólido, lo líquido, lo vaporoso y la mutabilidad. La mayor parte de los objetos, dijo, eran combinaciones de esos cuatro elementos.

Tomemos un leño de madera. Dado que es sólido en su forma usual, puede consistir, principalmente, del elemento sólido: tierra. Cuando se le calienta, arde, por lo que contiene también el «elemento» fuego. Al arder, libera vapor, que es una forma de aire. Parte de este vapor se convierte en gotas de agua; la madera, pues, debe contener también agua. En resumen, la madera está hecha de los cuatro elementos: tierra, fuego, aire y agua. Así razonaba Empédocles.

Su idea de los cuatro elementos fue captada al instante y gozó de popularidad entre los filósofos griegos. Fue más tarde desarrollada por Aristóteles (384-322 a. JC), el más grande filósofo de la antigua Grecia.

Aristóteles fue un estudioso completo, un hombre enciclopédico. Contribuyó con ideas originales a cada rama de la Ciencia de su tiempo. Sobre la noción de Empédocles referente a los cuatro elementos, Aristóteles edificó una teoría general acerca de la naturaleza de toda la materia del Universo.

Sugirió, entre otras cosas, que cada elemento ocupaba su propio lugar natural en el plan general. La Tierra, según creía, pertenecía al centro de nuestro Universo; en torno de su núcleo se encontraba el agua de los océanos; una capa de aire, a su vez, rodeaba la Tierra y los océanos; y más allá, en las capas superiores de la atmósfera, se encontraba el reino natural del fuego (que, a menudo, se mostraba en forma de relámpagos). Cada elemento buscaba su propio nivel. De este modo, una roca en el aire caería hacia la Tierra, su nivel natural; el fuego siempre se alza hacia la región elevada del fuego. Y todo de esta misma forma.

Aristóteles decidió que, las estrellas en los cielos, debían de pertenecer a una categoría completamente diferente. A diferencia de la cambiante materia de la Tierra, parecían inmutables y eternas. Además, los objetos en los cielos se movían en una esfera fija, sin alzarse ni caerse. Por tanto, debían de estar hechos de un elemento completamente diferente a cualquiera de la Tierra. De este modo, Aristóteles inventó un quinto elemento, del cual creía que estaba compuesto todo el Universo exterior a la Tierra. Lo llamó «éter»; más tarde, los filósofos lo

denominaron «quintaesencia», la forma latina de «quinta sustancia». Dado el quinto elemento se supuso que era perfecto (a diferencia de los elementos de la imperfecta y cambiante Tierra), todavía seguimos empleando en nuestro idioma la palabra quintaesencia para significar la forma más pura de cualquier cosa.

Aristóteles concibió otra noción que influyó en las opiniones de los hombres respecto de la materia durante millares de años. Observó que lo frío y lo caliente, lo húmedo y lo seco, parecían ser las propiedades fundamentales de los elementos. Pero las propiedades pueden cambiar: algo frío puede ser calentado y algo húmedo, secado. Así, pues, resultaba presumible que, al alterar las propiedades de algún modo se podía cambiar un elemento en otro. Esta noción, como veremos, constituyó un destello que condujo a la Química pero hizo avanzar a los hombres con el pie izquierdo, con resultados absurdos.

Capítulo 2
Alquimia y Elixires

Muy poco después de la época de Aristóteles, la cultura griega, de repente, se extendió ampliamente por Asia y África, gracias a las aventuras militares y conquistas de Alejandro Magno. Llevó el idioma griego y el conocimiento griego a Persia, Babilonia y Egipto. A cambio, los griegos recogieron una gran cantidad de conocimientos de los babilonios y de los egipcios.

Alejandro fundó numerosas ciudades en las tierras por él conquistadas. La mayor y más importante fue Alejandría (bautizada así por él, como es natural. Dio comienzo al asentamiento de su población, en la desembocadura de la rama más occidental del Nilo, en el año 332 a. de Jesucristo.

Alejandría se convirtió en la capital del nuevo reino egipcio, regido por los descendientes de Tolomeo, uno de los generales de Alejandro. Se convirtió en crisol de antiguas culturas: una tercera parte de su población era griega, otra tercera parte, judía y la tercera y última, egipcia.

Tolomeo I estableció un «Museo» en Alejandría. Aquí en lo que hoy llamaríamos una Universidad, congregó a todos los filósofos que pudo, ofreciéndoles apoyo y seguridad. Su hijo, Tolomeo II, prosiguió su obra, reuniendo libros para el Museo hasta que se convirtió en la biblioteca más grande del mundo antiguo. Mientras los estudiosos acudían en tropel al Museo para poder beneficiarse de su biblioteca y demás facilidades, Atenas declinaba como centro del saber griego y Alejandría ocupaba su lugar. Permaneció como centro intelectual del mundo antiguo durante setecientos años.

Los estudiosos de Alejandría continuaron en la tradición de los filósofos jonios y de Aristóteles. Pero bajo la influencia egipcia, su pensamiento acerca de la composición del Universo y la naturaleza de los elementos tomó una nueva dirección. La mayoría de los pensadores griegos tan sólo habían razonado acerca del mundo físico, sin hacer muchos intentos para observar o probar experimentalmente sus ideas. Según el punto de vista de la filosofía griega dominante, tal como fue expresado por Platón, lo ideal era más importante que lo material; por ello, las verdades más importantes respecto de la naturaleza esencial de las cosas serían descubiertas por

puro pensamiento más que dedicándose a las cosas materiales. Por el contrario, los egipcios, eran un pueblo sumamente práctico. Trataban ciertas piedras —calentándolas con carbón de leña, por ejemplo— para obtener metal de ellas. Fabricaron cristal de la arena, y ladrillos de la arcilla. Prepararon tintes y medicinas y otras muchas sustancias.

Los griegos dieron el nombre *chemia* a este arte de tratar materiales con objeto de cambiar su naturaleza. Tal vez habían tomado la palabra de «*Chem*», el nombre egipcio de su propio país. Algunos pueblos creen que *chemia*, además, debe entenderse como significando «magia negra». En lo que a los egipcios se refiere, llamaban a su tierra «negra» por una muy buena razón que nada tiene que ver con el misterio o la magia. Hacía referencia al negro y fértil suelo de su país natal del Nilo, que contrastaba con las amarillentas arenas del desierto.

Cuando los árabes conquistaron más tarde Egipto, colocaron a chemia el prefijo al, que equivale en árabe al artículo el, con lo que la palabra se convirtió en al chemia y, con el tiempo, en español, en alquimia.

Los primeros artesanos que trabajaron con metales, tintes y otras sustancias mantuvieron sus técnicas en secreto, á fin de conseguir un monopolio sobre sus productos y ponerles unos precios elevados (una práctica no desconocida en la actualidad). Esto se añadió al misterio que rodeaba a la alquimia. Y también hizo crear una jerga en la mayor parte de los escritos alquímicos. De hecho, la Alquimia fue, al principio, casi una religión, y los egipcios consideraron al dios Tot como el dios de la Alquimia. Los griegos reservaron este honor para su dios Hermes, que era su doble de Tot. Y por ello llamaron a la Alquimia el «arte hermético». Aún empleamos este término en la actualidad; cuando guardamos algo de una forma estanca (un procedimiento que los antiguos egipcios empleaban a veces en Alquimia), decimos que está «herméticamente cerrado».

LOS ALQUIMISTAS GRIEGOS

El primer escritor griego sobre Alquimia que conocemos fue un hombre que trabajaba los metales, llamado Bolos Demócrito, y que vivió en el siglo n. Trató de combinar el conocimiento práctico de los egipcios con las teorías de Aristóteles. Bolos Demócrito sabía que ciertos tratamientos pueden cambiar el color de los

metales. Por ejemplo, mezclando cobre (un metal rojo) con cinc (otros gris), se produce una aleación amarillenta (bronce). Su color era parecido al del oro. Bolos Demócrito razonó que el primer paso para formar el color del oro llegaría a formar el mismo oro. Y dado que, de acuerdo con Aristóteles, tanto el plomo como el oro estaban formados de los cuatro elementos universales (tierra, agua, aire y fuego), ¿no podría ser transformado en oro, simplemente, por el cambio de las proporciones de los elementos? Bolos Demócrito empezó a experimentar con toda clase de recetas para convertir el plomo en oro.

Éste fue el principio de un largo esfuerzo de más de dos mil años para llegar a la «transmutación» de los metales (de una voz griega que significa «cambiar por completo»). La idea fue adoptada, entusiásticamente, por tantas, personas, que, en una época tan temprana como el año 300 a. JC, un alquimista llamado Zósimo escribió una enciclopedia de Alquimia que abarca 28 volúmenes.

Casi todas las teorías alquímicas son consideradas, en la actualidad, como un conjunto de desatinos. Pero eran tomadas tan en serio que, en tiempos del emperador romano Diocleciano, éste ordenó que todos los libros de Alquimia fuesen destruidos, partiendo de la base de que, si todo el mundo aprendía a fabricar oro, se arruinaría el sistema monetario y se vendría abajo la economía del Imperio. La destrucción de los libros que ordenó es una de las razones de que conozcamos hoy tan poco acerca de la Alquimia griega. Tal vez si hubieran sobrevivido más libros, encontraríamos algunas gemas de auténtica sabiduría en medio de tantos desatinos. Por ejemplo, Zósimo describió ciertos experimentos en los que parecía hablar de un compuesto al que hoy llamamos «acetato de plomo».

En el siglo v, Alejandría se hundió como centro de conocimientos. Después que el emperador Constantino hiciera el cristianismo la religión oficial del Imperio romano, Alejandría fue atacada por los nuevos conversos como centro de la enseñanza «pagana». Las turbas cristianas destruyeron gran parte de la gran biblioteca y forzaron a muchos de los estudiosos a emigrar. Además, Constantinopla, la ciudad que Constantino había fundado como su capital, remplazó a Alejandría como depositaría del saber griego.

No obstante, durante mil años los estudiosos cristianos se dedicaron más bien a la teología y a la filosofía moral que a la filosofía natural. El único alquimista

importante durante estos siglos, en Constantinopla, fue Calinico. Inventó el «fuego griego», una mezcla de sustancias cuya fórmula exacta se ha perdido. Probablemente se componía de pez y cal viva. La cal viva se hidrata, con gran desprendimiento de calor, cuando se le añade agua, calor suficiente como para prender fuego a la pez. Además, el fuego griego ardía con mucha fuerza en el mar. Los ejércitos de Constantinopla lo emplearon para alejar a las flotas invasoras.

ISLAM Y ELIXIRES

Durante el siglo siguiente a que Constantinopla se convirtiera en capital, el Imperio romano fue invadido por tribus bárbaras procedentes del Norte. Hacia el año 500, toda la mitad occidental del Imperio estaba por completo bajo el dominio de los bárbaros. Y en el siglo vii, la mayor parte de la mitad oriental, incluyendo a Siria y Egipto, que habían caído en manos de la nueva religión, el Islam, fundada por Mahoma. Los ejércitos árabes se lanzaron sobre Siria y Persia y luego invadieron el norte de África. Tomaron Alejandría el año 640 después de Jesucristo.

No obstante, culturalmente los árabes fueron conquistados por la tradición del saber griego. Los mahometanos, más receptivos al conocimiento pagano que lo habían sido los cristianos, preservaron la filosofía natural griega en centros árabes de cultura, como Bagdad, El Cairo y Córdoba.

Bagdad, la capital del mayor de los imperios musulmanes, alcanzó la cúspide de su poder y gloria en los siglos viii y ix. En la actualidad es la capital del Irak. El Cairo, fundado por los musulmanes en el siglo x, se convirtió en un gran centro cultural en el siglo xiii. En la actualidad es la capital de Egipto y la ciudad más populosa de África. Córdoba, la capital del reino musulmán establecido en España, en el siglo viii, declinó en su importancia tras su reconquista por los reyes cristianos españoles en el siglo xiii, pero es aún una importante ciudad provincial en el sur de España.

El primer alquimista árabe del que tenemos antecedentes es Yalib ibn Yazid, que vivió del año 660 al 704. Fue hijo de uno de los primeros califas árabes y pudo haber ascendido al trono, al no haber sido por las intrigas palaciegas. Afortunadamente, estaba más interesado en la Alquimia que en la política; se retiró, afortunadamente, de la vida pública y se dedicó a sus estudios. Se supone que

aprendió Alquimia de un griego alejandrino y que escribió muchos libros acerca de este tema.

No obstante, el fundador más importante de la alquimia árabe fue Yabir. La vida de Yabir coincidió con el apogeo de la gloria de Bagdad en el siglo viii. Fue funcionario alquimista en la Corte del califa Harún al-Raschid y amigo personal del visir del califa, Yafar; ambos aparecen en muchos de los cuentos de Las mil y una noches. Después que el visir perdiera su favor y fuese ejecutado, Yabir decidió que resultaba más sano abandonar la Corte, por lo que regresó a al-Kufa, una ciudad a unos 160 km al sur de Bagdad, donde había nacido. Muchos libros y tratados se atribuyen a Yabir; tantos, en realidad, que algunos de ellos es posible que fueran escritos por otros alquimistas que pusieron el nombre del famoso alquimista en los libros para atraer más atención hacia sus obras. En los tiempos antiguos, esto constituía una práctica muy común.

Al parecer, Yabir fue un alquimista muy cuidadoso. Escribió las fórmulas para producir un gran número de nuevos materiales. Además, no estaba satisfecho con la noción de que todas las sustancias estuviesen compuestas de los cuatro elementos de Aristóteles. Aparte de esto, se dedicó a desarrollar otras ideas (las cuales tal vez se le habían ocurrido ya a otros alquimistas griegos).

Yabir consideraba el hecho de que los metales y los metaloides poseían propiedades muy diferentes. (¿Cómo podían estar ambos compuestos del mismo elemento sólido, tierra?) Decidió que los metales debían de contener algún principio especial, el cual, cuando se añadía a la tierra en diferentes proporciones, producía los diversos metales individuales. Este principio, según Yabir, debía de existir en grandes cantidades en el mercurio, porque este metal era un líquido y, además, debía de contener poca tierra sólida.

Yabir se percató, más adelante, que algunos metaloides ardían, mientras que los metales eran incombustibles. De nuevo razonó que debía de existir algún principio especial, que, añadido a una sustancia, le confería la propiedad de ser capaz de arder. Decidió que el azufre debía de contener ese principio en mayor proporción, porque el azufre ardía con facilidad. Su principio de inflamabilidad fue, por tanto, el azufre.

Yabir llegó a la conclusión de que todas las sustancias sólidas eran combinaciones de «mercurio» y «azufre» (es decir, de los principios que éstos representaban). Además, si, por ejemplo, se podía alterar la proporción de plomo, se podría convertir éste en oro.

En el siglo ix, Bagdad produjo un segundo gran alquimista, apropiadamente conocido como al-Razi, un nombre que después los europeos cambiaron por el de Rhazes. Probablemente, era de descendencia persa, puesto que su nombre significa «el hombre de Rai» (una antigua ciudad cuyas ruinas se encuentran cerca de Teherán).

Aproximadamente a la edad de treinta años, al-Razi visitó Bagdad. Allí, según cuenta la historia, quedó fascinado por las historias que escuchó a un boticario acerca de medicina y enfermedades. Al-Razi decidió estudiar Medicina, y acabó siendo jefe de los médicos del mayor hospital de Bagdad.

Al-Razi describió sus experimentos tan cuidadosamente, que los modernos estudiosos pueden repetirlos. Describió el yeso blanco, por ejemplo, y la manera en que podía emplearse para formar moldes que mantuviesen en su sitio los huesos rotos. También estudió la sustancia que conocemos en la actualidad con el nombre de antimonio.

Otro médico nacido en Persia, sin duda el más ilustre de los médicos de la Edad Media, fue conocido como Ibn Sina. Después que sus libros fuesen traducidos al latín, se hizo famoso entre los estudiosos europeos, con una mala pronunciación de su nombre, que quedó en Avicena. Había nacido en Afchana, cerca de Bujará, una ciudad al noroeste del moderno Irán y que hoy forma parte de la URSS.

Escribió más de un centenar de libros sobre Medicina (algunos de ellos muy voluminosos) e hizo listas de centenares de medicinas y de sus usos. Naturalmente, se convirtió en un alquimista, puesto que la mayor parte de las drogas se obtenían por medio de procedimientos alquímicos. No obstante, fue un alquimista fuera de lo corriente, puesto que no creía que la transmutación fuese posible.

En esto se encontraba por delante de su tiempo. Los alquimistas seguían persiguiendo la transmutación de los metales con creciente ansia. Cada cual deseaba descubrir el secreto de la fácil riqueza. Persiguieron incansablemente una misteriosa sustancia, algún polvo seco y mágico, que produciría la transformación

en «mercurio» y «azufre» y formaría oro. Los árabes llamaron a esa sustancia mágica al-iksir, de una palabra griega que significa «seco» (lo cual, probablemente, quiere decir que los griegos comenzaron primero la investigación). La palabra se ha hecho de uso corriente entre nosotros como elixir.

Los alquimistas, naturalmente, imaginaban que el maravilloso elixir que cambiaría los metales baratos en oro también tendría otras muchas maravillosas cualidades. Curaría, por ejemplo, la enfermedad y haría posible que los hombres viviesen para siempre. Incluso hoy, a veces hablamos de medicinas como «elixires» y, en fantasía literaria, hablamos de «elixir de vida», que puede hacer inmortales a los hombres.

En siglos posteriores, los europeos, al pensar en el elixir como un material duro y sólido, lo denominaron la «piedra filosofal».

Después de Avicena, los libros árabes sobre Alquimia no fueron otra cosa que un puro galimatías. El poder y la cultura musulmana empezaron también a declinar, mientras el Imperio se destruía. Pero, afortunadamente, Europa estaba empezando a emerger de su infancia intelectual y a hacerse cargo de la antorcha de la Ciencia.

Capítulo 3
El Declive de la Magia

Durante el período europeo más bajo, entre los años 500 y 1000 (algunas veces se le ha denominado las «Edades oscuras»), los europeos occidentales pensaban de los musulmanes únicamente como un pueblo diabólico con una falsa religión.

En 1096, los caballeros de la Europa occidental se lanzaron a las Cruzadas para recuperar Tierra Santa, que llevaba ya bajo el dominio musulmán casi 450 años. Tomaron Jerusalén y la retuvieron durante ochenta años, pero, después de dos siglos de continuas guerras, los cristianos fueron expulsados por completo de Oriente Medio. Desde entonces, la mayor parte del mismo ha sido musulmán, excepto el nuevo Estado de Israel y el parcialmente cristiano Estado del Líbano.

Los cruzados se encontraron con que los musulmanes eran más civilizados y eruditos de lo que habían supuesto. Regresaron con noticias acerca de nuevos productos empleados por los árabes (tales como la seda y el azúcar) y de avances de la Medicina y de la Alquimia que se encontraban más allá de todo lo conocido en Europa.

Estudiosos aventureros europeos comenzaron a buscar el conocimiento musulmán en algunos lugares como España y Sicilia, donde los árabes habían ejercido durante mucho tiempo su dominio. Aprendieron su lengua y, con la ayuda de los estudiosos musulmanes y judíos, empezaron a traducir los libros árabes al latín.

El más importante de esos primitivos traductores fue un italiano, Gerardo de Cremona (1114-1187). Viajó a Toledo, una ciudad española que había sido recientemente conquistada a los musulmanes. Trabajando con los estudiosos del Islam, tradujo algunos de los libros de Alquimia de Yabir y de al-Razi, y los libros médicos de Ibn Sina. También tradujo algunas de las obras de Aristóteles y de los grandes matemáticos griegos Euclides y Tolomeo.

Mientras esto sucedía, el renacimiento del interés por Aristóteles en Europa Occidental fue también estimulado por los dos grandes intérpretes vivos del filósofo griego: un estudioso musulmán, Averroes, que vivía en España, y un estudioso judío, Maimónides, en Egipto,

El nuevamente descubierto saber árabe y los rescatados escritores griegos se esparcieron por toda Europa. Hacia el siglo xiii, Europa Occidental había comenzado a ponerse en cabeza como centro principal del saber, y siguió en liderazgo hasta el siglo xx.

LOS ALQUIMISTAS EUROPEOS

Naturalmente, los estudiosos europeos adoptaron un interés inmediato por la alquimia árabe. El primero en realizar una investigación original en este campo fue un noble alemán, Alberto, conde de Bollstädt (1206-1280), conocido más corrientemente como Alberto Magno. También es conocido como «Doctor Universal» porque estudió los libros de Aristóteles y le pareció a sus estudiantes que lo conocía todo.

Alberto Magno propuso algunas recetas para producir oro y plata. Pero lo más importante (aunque nadie se dio cuenta de ello en aquel tiempo) fue su descripción de un método para preparar arsénico, una sustancia grisácea con algunas propiedades metálicas. Los minerales que contenían arsénico habían sido conocidos por los griegos y los romanos, que los habían empleado como sustancia colorante. No obstante, el arsénico puro era una cosa nueva. Alberto Magno fue el primero en llamar la atención de los estudiosos europeos hacia esta sustancia, y, tradicionalmente, se le concede el mérito de su descubrimiento.

Alberto Magno tuvo dos discípulos particularmente famosos: Tomás de Aquino (1225-1274), en Italia, y Roger Bacon (1214-1292), en Inglaterra. Bacon se convirtió en un activo alquimista. Popularizó la noción de Yabir en lo referente a los principios del «mercurio» y del «azufre». Algunos han atribuido a Bacon la invención de la pólvora, pero, en la actualidad, se considera que el primer europeo que fabricó pólvora fue un alquimista alemán llamado Berthold Schwarz.

Otro de los primeros alquimistas europeos fue el español Arnau de Vilanova. Al igual que otros muchos alquimistas, llevó a cabo un importante descubrimiento mientras perseguía la quimera dé la transmutación. Averiguó que ciertos vapores, al quemar carbón vegetal, eran tóxicos; lo que había descubierto (aunque no lo supo) fue el monóxido de carbono.

También en España, hacia 1366, vivió un alquimista que escribió bajo el seudónimo de «Geber», aparentemente para hacerse pasar por el famoso Yabir. Hubiera sido

más prudente que nos hubiese dado su auténtico nombre, puesto que fue un auténtico descubridor cuyo nombre en la actualidad se ha perdido. Fue el primero en describir los ácidos minerales fuertes, como el ácido sulfúrico y el ácido nítrico.

Esos ácidos proporcionaron al alquimista nuevos instrumentos para tratar los materiales. Pudieron disolver sustancias que no habían sido solubles con los ácidos débiles (tales como el vinagre), conocidos ya por los antiguos. El descubrimiento de Geber es, en la actualidad, más valioso que el oro. Los ácidos sulfúrico y nítrico se han convertido en bases de industrias como la de fertilizantes, explosivos, tintes y muchas más. Si todo el oro existente en el mundo desapareciese, difícilmente nos afectaría, pero la pérdida de los ácidos fuertes representaría una auténtica catástrofe.

En aquel tiempo, la Humanidad sólo se sentía atraída por una fórmula mágica que permitiera obtener oro. Y hubo muchos que aseguraron haberlo conseguido. Uno de los más famosos fue un estudioso español llamado Ramón Llull, también conocido como Raimundo Lulio. Se supone que fabricó oro para el rey Eduardo I de Inglaterra. Naturalmente que no hizo nada de esto; en realidad, Llull parece haber sido uno de los alquimistas que no creían que la transmutación fuese posible. Pero, de todos modos, la gente estaba ansiosa por creer esta fábula acerca de su supuesta realización.

Los fraudes florecieron. Gran cantidad de monedas de «oro» (que estaban hechas de latón o de plomo dorado) fueron escamoteadas con la pretensión de que habían sido fabricadas mediante la alquimia. Hubo tantas falsificaciones de esta clase que, en 1313, el Papa Juan xxii prohibió la práctica de la Alquimia por completo, sobre la inteligente base de que esa transmutación resultaba imposible y los alquimistas no hacían más que engañar al pueblo y lesionar la economía.

En Inglaterra, el rey Enrique IV, y los posteriores monarcas ingleses, de forma ocasional otorgaron algunos permisos individuales para trabajar en el problema de la fabricación de oro, con la idea de controlar el oro por sí mismos.

Durante los dos siglos posteriores a Geber, no se realizó ningún trabajo de auténtica importancia en la Alquimia. Casi todo fueron fraudes y galimatías. Algunos de los, practicantes dejaron este «juego de confianza»; unos cuantos fueron perseguidos y

castigados severamente (algunos incluso ahorcados). La misma palabra «alquimista» se convirtió en sinónimo de «falsificador».

Hubo algunos honrados, alquimistas, como es natural. Uno de ellos fue Bernardo Trevisano, de Italia (1406-1490). Dedicó su larga vida y su fortuna a perseguir en vano el secreto del oro.

En el siglo xvi, un nuevo espíritu comenzó a animar la filosofía natural e, inevitablemente, ello afectó a la Alquimia. Muy notable, entre la nueva generación de alquimistas, fue un sueco excéntrico llamado Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541). Su padre le enseñó medicina y él mismo estudió minerales en las minas austriacas. Viajó por toda Europa, recogiendo conocimientos por todas partes. Von Hohenheim se dedicó a los estudios alquimistas para encontrar una piedra filosofal que crease medicinas para el tratamiento de la enfermedad, más que para fabricar oro.

Uno de los más famosos escritores romanos sobre temas médicos fue Aulo Cornelio Celso. Von Hohenheim, que rechazaba las nociones de romanos y griegos acerca de la enfermedad, se llamó a sí mismo «Paracelso» (que se encontraba más allá de Celso).

En 1526, como profesor de Medicina en Basilea, Suiza, Paracelso conmocionó a los eruditos de aquel tiempo al quemar en público todos los libros de Medicina escritos por griegos y árabes. Emprendió drásticas acciones para sacar a la Ciencia de su marasmo. Los médicos se pusieron furiosos, pero Paracelso les obligó a poner en tela de juicio las ideas tradicionales y pensar con una nueva perspectiva. Consiguió curar a algunos pacientes que los otros médicos no habían sido capaces de ayudar. Su fama aumentó. No obstante, no por ello dejó de recurrir a algunos engaños; por ejemplo, alegó haber descubierto el secreto de la vida eterna, aunque, como es natural, no vivió para probar su teoría... Falleció a los cincuenta años, al parecer de una fractura de cráneo tras una caída accidental.

Paracelso añadió un tercer principio al «mercurio» y «azufre», lo cual supuestamente proporcionaba propiedades metálicas e inflamabilidad. ¿Pero qué cabía decir de los metaloides que no ardían, como, por ejemplo, la sal? Decidió que un tercer principio debería representar esta propiedad, y tomó la «sal» como su corporización.

Paracelso fue el primero en describir el cinc. Algunos minerales que contenían este metal habían sido empleados hacía ya tiempo para fabricar latón (una mezcla de cobre y cinc), pero no se conocía el metal en sí, por lo que se concede, comúnmente, la fama a Paracelso de haber sido el descubridor del cinc.

Tabla 1

Los Elementos de los Tiempos Antiguos y Medievales

Elemento	Fecha de proposición	Propuesto por
Agua	h. 600 a. JC	Tales
Aire	h. 550 a. JC	Anaxímedes
Fuego	h. 550 a. JC	Heráclito
Tierra	h. 450 a. JC	Empédocles
Éter	h. 350 a. JC	Aristóteles
Mercurio	h. 750 d. JC	Yabir
Azufre	h. 750 d. JC	Yabir
Sal	h. 1530 d. JC	Paracelso

Hasta el día de hoy, el nombre de Paracelso ha sido algo casi sinónimo de alquimia. Pero actualmente no es el alquimista más famoso. Esa distinción corresponde a un hombre que, lo cual es bastante raro, contribuyó muy poco a la Alquimia o a la Ciencia. Fue, simplemente, un hombre, quien en su tiempo (el de Paracelso también) consiguió una gran reputación popular como mago. La leyenda dice que estableció un pacto con el diablo. El nombre del alquimista, inmortalizado por Goethe, fue el de Johann Faust.

A fines del siglo xvi, la Alquimia comenzaba a realizar su transición hacia una verdadera ciencia. En 1597, un alquimista alemán llamado Andreas Libau, generalmente conocido con la versión latinizada de su apellido, Libavius, preparó el terreno para ella al recopilar todo el conocimiento que los alquimistas habían allegado. Su libro, Alquimia, puede ser considerado el primer buen libro de texto sobre el tema. Libavius realizó una importante contribución personal: fue el primero en describir métodos para preparar el ácido clorhídrico. Permítasenos que resumamos, ahora las respuestas que los hombres hasta aquel tiempo habían dado

a la pregunta de Tales. ¿De qué está hecho el Universo? Se hallan relacionadas en la tabla 1.

¡Vaya un resultado para dos mil quinientos años de pensamiento! Las nociones del hombre acerca de la naturaleza de la materia estaban muy verdes. Nadie había aislado un solo elemento o hallado ninguna forma racional de combinar los elementos para formar compuestos.

Pero una revolución se había puesto en marcha. El siglo xvii llegó como un estallido, sacudiendo las antiguas ideas y aclarando el aire para un nuevo inicio de la Ciencia.

Capítulo 4
Un Nuevo Principio

La revolución había empezado en 1543, dos años después de la muerte de Paracelso. En aquella fecha, el astrónomo polaco Nicolás Copérnico publicó su desconcertante teoría de que el Sol y no la Tierra, constituía el centro del Universo. A los estudiosos del tiempo, les llevó más de medio siglo reconciliarse a sí mismos con este profundo cambio en el punto de vista de las cosas. Al final, el abandono de las antiguas ideas en Astronomía también llevó a una nueva actitud hacia la Ciencia en general.

Francis Bacon (1561-1625) fue uno de los primeros en dar una expresión formal a la nueva forma de pensar. En 1605, publicó un libro denominado Avances en el conocimiento. Este tratado alejó el misticismo que oscurecía la Ciencia. Luego, en 1620, presentó un nuevo método de razonamiento en un libro titulado *Novum Organum* (el título fue tomado del *Organon*, de Aristóteles, un tratado acerca del razonamiento deductivo).

Bacon señaló que la deducción, el método de razonamiento partiendo de unas presuntas verdades, era insuficiente para conocer la naturaleza del Universo físico. Había tenido éxito en Matemáticas, pero la «filosofía natural» (Ciencia) necesitaba una aproximación diferente. Había que estudiar la misma Naturaleza: observar, coleccionar hechos, ponerlos luego en orden y emitir teorías o leyes basadas en los hechos.

Pero Bacon no aplicó sobre sí mismo su método «inductivo» para la investigación del mundo físico. Fue su gran contemporáneo, Galileo Galilei (1564-1642), quien puso en práctica el método.

LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

Galileo es, quizá, la primera persona, de las que he mencionado hasta ahora en este libro, que puede ser llamado un auténtico científico. Cuando era joven aún, comenzó a actuar extrañamente (para aquellos, tiempos). Por ejemplo, a los diecisiete años, se percató de que un candelabro oscilante de la catedral de Pisa, parecía emplear el mismo tiempo para completar su movimiento de balanceo, ya

fuese teste amplio o más reducido. Galileo se dirigió en seguida a su casa y realizó algunos experimentos. Fabricó péndulos de diferentes tipos y comprobó el tiempo de sus oscilaciones mientras el pulso le latía con fuerza. Ya bastante seguro, su conjetura demostró ser correcta: un péndulo que cuelgue de una cuerda de una longitud determinada, siempre oscila en la misma medida, con independencia de su peso o de la longitud de la cuerda.

En aquella época, a la mayoría de los filósofos esa clase de conducta les parecía algo pueril. El medir, el probar, el jugar con cuerdas y bolitas, todo ello era impropio de un auténtico pensador. Pero, en cuanto Galileo continuó con sus experimentos, investigando un fenómeno tras otro con los más exactos métodos que pudo prever, impresionó a sus contemporáneos cada vez más. Al hacer caer bolas sobre superficies inclinadas, rebatió la noción de Aristóteles de que objetos de diferentes pesos caerían a distintas velocidades. Galileo siguió con la construcción de un telescopio y realizó observaciones que dejaron completamente trastornada la, en aquel tiempo, honrada descripción de los cielos por parte de los griegos. Observó estrellas que resultaban invisibles a simple vista; divisó montañas en la Luna y manchas en el Sol y descubrió que el planeta Júpiter poseía cuatro pequeñas lunas.

Galileo no había sido el primer hombre en la Historia en observar, medir y experimentar. Pero fue el primero en elevar este método a un sistema y popularizarlo. Escribió libros y artículos acerca de sus descubrimientos (en italiano en vez de en latín), que fueron tan interesantes y claros que los estudiosos de Europa empezaron a ser ganados por el nuevo sistema. Por esta razón, muchas personas sintieron que lo que realmente llamamos «ciencia» había comenzado con Galileo. (Digamos que la palabra «ciencia» no comenzó a emplearse hasta bien avanzado el siglo xix; hasta aquel tiempo, los científicos se denominaban a sí mismos «filósofos naturalistas». Incluso hoy, los estudiantes que realizan trabajos en ciencias consiguen el grado de «Doctor en Filosofía».)

La revolución científica que Galileo había iniciado, afectó a todas las ciencias, incluyendo la Alquimia.

En 1604, un alemán llamado Thölde publicó un libro titulado El carro triunfal del antimonio, que anunciaba el descubrimiento de dos nuevas sustancias: el antimonio y el bismuto.

El antimonio se conocía ya desde hacía miles de años, pero no como elemento. Los minerales que contenían antimonio habían sido empleados en los tiempos bíblicos como «sombra de ojos»; Jezabel se suponía que se lo aplicaba cuando se «pintaba la cara». Los alquimistas griegos tal vez incluso sabían cómo preparar antimonio puro, y los arqueólogos han encontrado que los antiguos babilonios empleaban utensilios hechos de antimonio.

Thölde afirmó que el libro que publicaba había sido, originariamente, escrito por un monje del siglo xv llamado Basilio Valentín. Pero era tan avanzado que existen serias dudas de que hubiese sido escrito en una época tan temprana, e incluso se ha llegado a dudar de que existiese una persona como Valentín.

El propio Thölde debió de ser el autor. La nueva aproximación científica a los temas en estudio resultó ejemplificada por Jan Baptista van Helmont (1577-1644), un alquimista flamenco nacido cerca de Bruselas. Estaba especialmente interesado en los vapores. Estudió los vapores que se formaban al arder carbón vegetal y las burbujas de vapor en el jugo fermentado de las frutas. Dado que los vapores constituían una clase de materia sin forma, en un estado al que los griegos denominaban «caos», Van Helmont adoptó este nombre para el vapor y, pronunciándolo a la flamenca, le llamó gas.

El único gas conocido hasta aquel tiempo era el aire. Pero Van Helmont descubrió que el gas producido al quemar carbón vegetal tenía propiedades que no eran las mismas del aire ordinario. Por ejemplo, una vela no podía arder en este gas. Lo llamó «aire silvestre». Nosotros lo conocemos hoy como monóxido de carbono.

Luego, apareció un alquimista alemán llamado Johann Rodolf Glauber que también llevó a cabo cuidadosas observaciones. Su descubrimiento más famoso fue la «sal de Glauber», que conocemos en la actualidad como sulfato de sodio. Glauber conservaba en él algo de Paracelso. Decidió que su nueva sal constituía una cura casi para todo, y la llamó sal mirabile (sal maravillosa).

ABAJO CON LOS ANTIGUOS ELEMENTOS

El primer hombre en plantearse la antigua pregunta de Tales, en el nuevo espíritu de la Ciencia, fue un inglés llamado Robert Boyle.

Boyle (1627-1691) nació en la ciudad de Lismore, en el sur de Irlanda. Era el decimocuarto hijo del conde de Cork. Visitó Italia en 1641, exactamente un año antes de la muerte de Galileo. Por tanto, conoció a aquel gran hombre en pleno trabajo, y regresó a Inglaterra con un profundo interés por la ciencia galineana.

Al igual que Van Helmont, se llegó a interesar en especial por la conducta de los gases y realizó numerosos experimentos. Sus estudios mejor conocidos son aquellos que realizó con aire en un recipiente cerrado bajo diversas cantidades de presión. Descubrió que el volumen de airease reducía en proporción directa al incremento en la presión sobre el mismo. Este simple aunque importante descubrimiento se ha convertido en la famosa «ley de Boyle».

En 1645, Boyle, junto con un grupo de amigos que se hallaban interesados en la nueva ciencia, formó un club llamado el «Philosophical College». El club pronto entró en decadencia, a causa de la rebelión popular contra la Corona y la conducta del rey Carlos i. Boyle y sus amigos eran aristócratas, y pensaron que sería más prudente que no les vieran durante algún tiempo. Poco después, el pueblo restauró a Carlos ii en el trono, en 1660, y el club salió otra vez a la luz pública. Fue ahora, bajo la protección del rey, cuando se le bautizó de nuevo como «Royal Society». La Sociedad ha servido desde entonces como foro para los científicos europeos.

En 1661, Boyle recogió sus descubrimientos y teorías en un libro titulado El químico escéptico. Boyle se llamó a sí mismo «químico» (de la original voz griega chemia), porque «alquimista» había ido adquiriendo una mala reputación. Poco después, la Alquimia se convirtió en «Química» (por un leve cambio en la forma de pronunciarlo Boyle).

Boyle se describió a sí mismo como un químico «escéptico», porque puso en tela de juicio las antiguas nociones griegas de los elementos. Tuvo la sensación de que debía realizarse un arranque totalmente nuevo en la búsqueda de los elementos.

Había que empezar por definir con claridad qué era un elemento. Los elementos deberían definirse como las sustancias básicas de las que estaba constituida toda la materia. Eso significaba que un elemento no podría ser descompuesto en unas sustancias más simples. Además, una forma de averiguar si un elemento sospechoso era realmente un elemento, radicaba en tratar de romperlo. Otro método de investigación fue el combinar sustancias en compuestos y luego

descomponerlo de nuevo en elementos. En resumen, la mejor forma de identificar los elementos era a través de la experimentación de los mismos.

¿Y cómo quedaban los antiguos «elementos» de acuerdo con esta nueva forma de ver las cosas? Empecemos con el «fuego» y la «tierra». El fuego no era, en absoluto, una sustancia, sino sólo el brillo de una materia calentada. En lo referente a la tierra, podía mostrarse que la tierra estaba formada de muchas sustancias más simples. Así, pues, ninguna de las dos cosas era un elemento, según la definición de Boyle.

El agua y el aire eran problemas más espinosos. En la época en que se escribió el libro de Boyle, esas dos sustancias no podían descomponerse en otra más simple, por lo que deberían ser elementos. Pero, en 1671, Boyle llevó a cabo un experimento que, con el tiempo, constituiría una prueba de que no se trataba de elementos, aunque en aquel momento no podía saberlo. Trató hierro con ácido y produjo unas cuantas burbujas de gas. Pensó que el gas era únicamente aire corriente. Pero otros químicos, descubrieron más tarde que este gas ferroso quemaba e incluso explotaba. Y más de cien años después, descubrió que, al arder, el gas se combinaba con parte del aire para formar agua. Esto mostraba que el agua era un compuesto, no un elemento. A continuación, otros experimentos llegarían a mostrar que el agua podía descomponerse en dos gases, que podían recombinarse para formar agua. Y el hecho de que el gas explosivo combinaba con sólo una parte de aire, también probaba que el aire era una mezcla de sustancias.

Así que ninguno de los cuatro antiguos «elementos» griegos era, a fin de cuentas, un elemento.

ARRIBA CON LOS NUEVOS...

Por otra parte, algunas de las sustancias que los griegos conocían, pero a las que no llamaban elementos, llegaría el momento en que se convirtieran en elementos. Uno de ellos fue el oro. Los alquimistas habían estado intentando lo imposible: todo su duro trabajo no podría formar oro de otras sustancias, porque él mismo era un elemento simple. Sólo la Alquimia moderna de los físicos nucleares ha tenido éxito al transformar un elemento en otro.

Junto con el oro, los antiguos conocían otros seis metales que, al final, demostraron ser auténticos elementos: plata, cobre, hierro, estaño, plomo y mercurio. Además, conocían otros dos metaloides que, más tarde, fueron identificados como elementos, azufre y carbono.

Para resumir, en la tabla 2 exponemos la lista de las nueve sustancias conocidas por los antiguos, que ahora podían ser consideradas elementos según la definición de Boyle. No contamos con una información fidedigna de cuándo o por quién fueron descubiertos.

TABLA 2

LOS ELEMENTOS QUÍMICOS CONOCIDOS POR LOS ANTIGUOS

ELEMENTO QUÍMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDORES
Oro	?	?
Plata	?	?
Cobre	?	?
Hierro	?	?
Estaño	?	?
Plomo	?	?
Mercurio	?	?
Carbono	?	?
Azufre	?	?

¿Y qué podemos decir de los elementos de los alquimistas? Pues bien, Yabir acuñó los nombres de dos: «mercurio» y «azufre». Pero los «principios» del mercurio y del azufre que concibió (y a partir de los cuales creía poder fabricar oro y cristal mezclándolos en las adecuadas proporciones) no constituían unos elementos. Las propiedades de los elementos químicos mercurio y azufre son diferentes de los principios alquímicos de Yabir, Y en cuanto a la «sal», el principio de Paracelso, todo colegial actual sabe que es un compuesto de sodio y de cloro.

De todos modos, en su búsqueda de una forma para fabricar oro, los alquimistas descubrieron varios auténticos elementos. Presentamos una relación de ellos en la

tabla 3, junto con los nombres de sus supuestos descubridores y las fechas aproximadas.

TABLA 3

ELEMENTOS DESCUBIERTOS POR LOS ALQUIMISTAS

ELEMENTO QUÍMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Arsénico	h. 1250 ?	Alberto Magno ?
Antimonio	h. 1450 ?	Basilio Valentín ?
Bismuto	h. 1450 ?	Basilio Valentín ?
Cinc	h. 1450 ?	Paracelso ?

En conjunto, pues, hacia la época de Boyle trece sustancias, que llegarían a convertirse en elementos, habían sido ya descubiertas.

Capítulo 5
La Era del Flogisto

Aunque las trece sustancias relacionadas en el capítulo anterior son hoy conocidas como elementos, eso no significa que fuesen consideradas necesariamente como elementos en la época de Boyle. El químico de 1661 sólo podía, realmente, estar seguro de que el oro, por ejemplo, no podía dividirse en sustancias simples.

El mismo Boyle no creía que el oro fuese un elemento. Tal vez otro metal, como el plomo, pudiese ser dividido en sustancias con las que volverse a combinar para formar oro. En otras palabras, el plomo y el oro podían estar compuestos de otros elementos aún más simples. Incluso Boyle persuadió a Carlos ii para que volviese a hacer uso de la antigua ley de Enrique iv que prohibía la fabricación de oro, porque creía que aquella ley se encontraba en el camino del progreso científico.

Durante más de cien años después de Boyle, la tentativa de fabricar oro por transmutación continuaba sin disminuir. En parte, esto ocurría porque la realeza de aquel tiempo continuaba en extremo interesada en semejantes proyectos. El Gobierno se había hecho mucho más caro que en la Edad Media, pero el sistema de impuestos continuaba siendo medieval.

Aunque los pobres campesinos se encontraban agobiados por el índice de tributos, la recaudación era tan ineficaz y los Gobiernos tan corruptos, que los reyes de los siglos xvii y xviii andaban siempre muy escasos de dinero. Se veían constantemente tentados de creer a cualquier alquimista que jurase que el oro podía fabricarse a partir del hierro. Así, Cristian iv, rey de Dinamarca desde 1588 a 1648, acuñó moneda con «oro» preparado por él y un alquimista. Lo mismo hizo Fernando iii, el emperador del Sacro Imperio Romano, de 1637 a 1657.

A veces los falsificadores llegaban demasiado lejos. Uno de ellos fue atrapado y colgado en 1686 por un margrave alemán. Otro alquimista fue ahorcado en 1709 por el rey de Prusia Federico i. Tanto el margrave como el rey habían sido seducidos por su ansia de oro.

Tal vez el más famoso falso alquimista de todos los tiempos fue un siciliano llamado Giuseppe Balsamo (1743-1795). En su juventud trabajó como ayudante de un boticario y recogió ligeros conocimientos de química y medicina. También tenía un

pico de oro, un gran talento para el engaño y ninguna clase de moral. Forjó engaños de todas clases, alegando, por ejemplo, que su vida había durado ya miles de años, que podía fabricar oro y que poseía elixires secretos que conferían una gran belleza y una larga vida.

Bajo el nombre de conde Alejandro de Cagliostro, operó con notable éxito en la Francia de Luis xvi. Fundó sociedades secretas, fabricó oro falso y defraudó a la crédula gente de toda condición. Finalmente, cometió el error de verse envuelto en el robo de un collar valioso a un joyero, con la pretensión de que era para la reina María Antonieta. Esto le hizo dar con sus huesos, en 1785, en una cárcel francesa.

El «asunto del collar de la reina» representa una publicidad muy nefasta para María Antonieta, a la que muchos supusieron implicada en aquellos engañosos negocios (aunque, en realidad, no era así). Esto ayudó al comienzo de la Revolución francesa, en 1789. Cagliostro había conseguido salir de la cárcel para entonces. Pero su suerte había acabado. Fue encarcelado, en Roma, por los manejos de una sociedad secreta y esta vez se le condenó a cadena perpetua.

Cagliostro es un relevante personaje en varias de las novelas históricas de Alejandro Dumas, el cual, desgraciadamente, lo trata con demasiada simpatía.

Incluso los científicos más destacados continuaron la persecución de la investigación del oro. El caso más desconcertante es el de Isaac Newton (1642-1727), probablemente el científico más ilustre que haya existido nunca. Newton dedicó una gran cantidad de tiempo a la búsqueda alquímica del secreto de la fabricación de oro, aunque no con más éxito que las mentes menos preclaras a la suya que lo habían probado.

La persistente fe en la Alquimia dio nacimiento a otras curiosas ideas, que se hicieron populares. Una fue una nueva teoría acerca de la combustión. Hacia 1700, un médico alemán llamado George Ernst Stahl, siguiendo su pista de la idea yabiriana del «principio» quemador (azufre), dio un nuevo nombre a este principio: «flogisto», de una voz griega que significaba «inflamable». Según Stahl, cuando una sustancia ardía, el flogisto la abandonaba y escapaba al aire. La ceniza que quedaba ya no podía arder más porque estaba por completo liberada de flogisto.

Stahl concibió otra idea que era más ingeniosa de lo que él suponía. Afirmó que la oxidación de los metales constituía un proceso muy parecido al de la quema de la

madera. (Esto es verdad: en ambos casos, constituye el proceso de oxidación.) Stahl teorizó que, cuando un metal se calentaba, el flogisto escapaba de él y dejaba un «residuo» (al que nosotros llamaremos óxido).

Su teoría pareció explicar los hechos de la combustión, con tanta claridad, que fue algo aceptado por la mayoría de los químicos. Casi la única seria objeción radicaba en que el residuo de un metal oxidado era más pesado que el metal original. ¿Cómo podía el metal perder algo (flogisto) y acabar siendo más pesado? Pero la mayoría de los químicos del siglo xviii no se preocuparon por esto. Algunos sugirieron que tal vez el flogisto poseía un «peso negativo», por lo que una sustancia perdía peso cuando se le añadía flogisto y ganaba peso cuando el flogisto la abandonaba.

NUEVOS METALES

A pesar de todas estas trampas, la «era del flogisto» produjo algunos muy importantes descubrimientos. Un alquimista de aquel tiempo descubrió un nuevo elemento: el primer (y último) alquimista que, de una forma definida, identificó un elemento y explicó exactamente cuándo y cómo lo había encontrado.

El hombre fue un alemán llamado Hennig Brand. Algunas veces se le ha llamado el «último de los alquimistas», pero en realidad hubo muchos alquimistas después de él. Brand, al buscar la piedra filosofal para fabricar oro, de alguna forma se le ocurrió la extraña idea de que debía buscarla en la orina humana. Recogió cierta cantidad de orina y la dejó reposar durante dos semanas. Luego la calentó hasta el punto de ebullición y quitó el agua, reduciéndolo todo a un residuo sólido. Mezcló un poco de este sólido con arena, calentó la combinación fuertemente y recogió el vapor que salió de allí. Cuando el vapor se enfrió, formó un sólido blanco y cerúleo. Y, asómbrense, aquella sustancia brillaba en la oscuridad.

Lo que Brand había aislado era el fósforo, llamado así según una voz griega que significa «portador de luz». Relumbra a causa de que se combina, espontáneamente, con el aire en una combustión muy lenta. Brand no comprendió sus propiedades, naturalmente, pero el aislamiento de un elemento (en 1669) resultó un descubrimiento espectacular y causó sensación. Otros se apresuraron a preparar aquella sustancia reluciente. El propio Boyle preparó un poco de fósforo sin conocer el precedente trabajo de Brand.

El siguiente elemento no fue descubierto hasta casi setenta años después.

Los mineros del cobre en Alemania, de vez en cuando encontraban cierto mineral azul que no contenía cobre, como les ocurría, por lo general, a la mena azul del cobre. Los mineros descubrieron que este mineral en particular les hacía enfermar a veces (pues contenía arsénico, según los químicos descubrieron más tarde). Los mineros, por tanto, le llamaron «cobalto», según el nombre de un malévolo espíritu de la tierra de las leyendas alemanas. Los fabricantes de cristal encontraron un empleo para aquel mineral: confería al cristal un hermoso color azul y una industria bastante importante creció con aquel cristal azul.

En la década de 1730, un médico sueco llamado Jorge Brandt empezó a interesarse por la química del mineral. Lo calentó con carbón vegetal, de la forma corriente que se utilizaba para extraer un metal de un mineral, y, finalmente, lo redujo a un metal que se comportaba como el hierro. Era atraído por un imán: la primera sustancia diferente al hierro que se había encontrado que poseyera esta propiedad. Quedaba claro que no se trataba de hierro, puesto que no formaba una oxidación de tono pardo rojizo, como lo hacía el hierro. Brandt decidió que debía de tratarse de un nuevo metal, que no se parecía a ninguno de los ya conocidos. Lo llamó cobalto y ha sido denominado así a partir de entonces.

Por tanto, Brand había descubierto el fósforo y Brandt encontrado el cobalto (el parecido de los apellidos de los dos primeros descubridores de elementos es una pura coincidencia).

A diferencia de Brand, Brandt no era alquimista. En realidad, ayudó a destruir la Alquimia al disolver el oro con ácidos fuertes y luego recuperando el oro de la solución. Esto explicaba algunos de los trucos que los falsos alquimistas habían empleado.

Fue un discípulo de Brandt el que realizó el siguiente descubrimiento. Axel Fredrik Cronstedt se hizo químico y también fue el primer mineralógolo moderno, puesto que fue el primero en clasificar minerales de acuerdo con los elementos que contenían. En 1751, Cronstedt examinó un mineral verde al que los mineros llamaban kupfernickel («el diablo del cobre»). Calentó los residuos de este mineral junto con carbón vegetal, y también él consiguió un metal que era atraído por un imán, al igual que el hierro y el cobalto. Pero mientras el hierro formaba

compuestos, pardos y el cobalto azules, este metal producía compuestos que eran verdes. Cronstedt decidió que se trataba de un nuevo metal y lo llamó níquel, para abreviar lo de kupfernickel.

Se produjeron algunas discusiones respecto de si el níquel y el cobalto eran elementos, o únicamente compuestos de hierro y arsénico. Pero este asunto quedó zanjado, en 1780, también por otro químico sueco, Torbern Olof Bergman. Preparó níquel en una forma más pura que lo que había hecho Cronstedt, y adujo un buen argumento para mostrar que el níquel y el cobalto no contenían arsénico y que eran, por lo contrario, unos nuevos elementos.

Bergman constituyó una palanca poderosa en la nueva química y varios de sus alumnos continuaron el descubrimiento de nuevos elementos.

Uno de éstos fue Johan Gottlieb Gahn, que trabajó como minero en su juventud y que siguió interesado por los minerales durante toda su vida. Los, químicos habían estado trabajando con un mineral llamado «manganeso», que convertía en violeta al cristal. («Manganeso» era una mala pronunciación de «magnesio», otro mineral con el que lo habían confundido algunos alquimistas.) Los químicos estaban seguros que el mineral violeta debía contener un nuevo metal, pero no fueron capaces de separarlo calentando el mineral con carbón vegetal. Finalmente, Gahn encontró el truco, pulverizando el mineral con carbón de leña y calentándolo con aceite. Como es natural, este metal fue llamado manganeso.

Otros discípulo de Bergman, Pedro Jacobo Hjelm, realizó mucho mejor este mismo truco con una mena a la que llamaron «molibdena». Este nombre deriva de una voz griega que significa «plomo», porque los primeros químicos confundieron este material con mena de plomo. Hjelm extrajo del mismo un metal blanco argentado, el cual, ciertamente, no era plomo. Este nuevo metal recibió el nombre de «molibdeno».

El tercero de los discípulos de Bergman descubridores de elementos no fue sueco. Se trataba del español don Fausto de Elhúyar. Junto con su hermano mayor, José, estudió una mena pesada llamada «tungsteno» (palabra sueca que significa «piedra pesada»), o «volframio». Calentando la mena con carbón vegetal, los hermanos, en 1783, aislaron un nuevo elemento al que, en la actualidad, según los países, se denomina tungsteno o volframio.

Bergman tuvo todavía una conexión indirecta con otro nuevo metal. En 1782, un mineralógolo austriaco, Franz Josef Müller, separó de una mena de oro un nuevo metal que tenía algún parecido con el antimonio. Envió una muestra a Bergman, como hacían los más importantes mineralógolos de su época. Bergman le aseguró que no era antimonio. En su momento, el nuevo metal recibió el nombre de telurio, de una voz latina que significaba «tierra».

Mientras todos estos elementos habían sido descubiertos en Europa, también iba a ser descubierto uno en el Nuevo Mundo. En 1748, un oficial de Marina español llamado Antonio de Ulloa, cuando viajaba de Colombia a Perú en una expedición científica, encontró unas minas que producían unas pepitas de un metal blanquecino. Se parecía algo a la plata, pero era mucho más pesado. El parecido con la plata (y tomando como base esta palabra española) hizo que se diese a este nuevo metal el nombre de platino.

Al regresar a España, Ulloa se convirtió en un destacado científico y fundó el primer laboratorio en España dedicado a la Mineralogía. También se hallaba interesado por la Historia Natural y por la Medicina. Además, acudió a Nueva Orleáns como representante del rey español, Carlos iii, cuando España adquirió la Luisiana, que antes pertenecía a Francia, tras la Guerra India, en Estados Unidos.

Incluso los antiguos metales conocidos por los alquimistas tuvieron una nueva trayectoria en aquellos primeros tiempos de la Química moderna. En 1746, un químico alemán, Andreas Sigismund Marggraff, preparó cinc puro y describió cuidadosamente sus propiedades por primera vez; por tanto, se le ha atribuido el descubrimiento de este metal.

Probablemente, Marggraff es más conocido, sin embargo, por encontrar azúcar en la remolacha. Con un microscopio detectó pequeños cristales de azúcar en aquel vegetal, y, al mismo tiempo, proporcionó al mundo una nueva fuente de azúcar. Marggraff fue el primero en emplear el microscopio en la investigación química.

Lo que Marggraff había hecho con el cinc, lo realizó un químico francés, Claude-Francois Geoffrey, con el antiguo metal del bismuto. En 1753, aisló el metal y describió cuidadosamente su comportamiento, por lo que, algunas veces, se le ha atribuido el descubrimiento de este elemento.

LOS NUEVOS GASES

Sin embargo, los metales no constituyeron el interés principal del fructífero siglo XVIII. La mayor excitación de aquel tiempo radicaba en el descubrimiento de nuevos gases. Ya hemos mencionado el descubrimiento previo por Boyle de un gas inflamable, mediante el tratamiento del hierro con ácido. El hombre que llegaría a aislar ese gas (hidrógeno) fue el pintoresco químico inglés. Henry Cavendish (1731-1810).

Cavendish fue uno de los tipos más raros en la historia de la Ciencia. Era un excéntrico que casi llegaba a la locura. Su único interés en la vida era la Ciencia. Vivía solo, no podía soportar el hablar a más de una persona a la vez, e incluso ni esto lo soportaba demasiado. Nunca se casó ni llegó a mirar a una mujer. Cuando alguna de sus criadas llegaba a insinuarse, era despedida en el acto. Se construyó una escalera privada en su casa para no encontrarse con nadie, por casualidad, mientras iba o venía. Incluso insistió en morir a solas.

Como pariente del duque de Devonshire, Cavendish heredó una gran fortuna, la cual dedicó, prácticamente toda, a sus investigaciones científicas, y luego continuó viviendo de manera miserable cuando se quedó sin nada.

Cavendish fue uno de los experimentadores más inteligentes de todos los tiempos. Es especialmente célebre por haber llevado a cabo una delicada medición de la tracción de la gravedad con pequeñas bolas de plomo, que le permitieron calcular la masa de nuestro planeta. Fue también el primer hombre en «pesar la Tierra».

En 1776, Cavendish obtuvo un gas, lo mismo que Boyle, por la acción del ácido clorhídrico sobre el hierro, y también al tratar otros diversos minerales con ácidos. En cada caso, el gas era extremadamente ligero, mucho más que el mismo aire, y ardía con rapidez con una delgada llama azul. Cavendish estaba seguro de que todos los ejemplos eran del mismo gas. Dado que el gas ardía con tanta facilidad y era tan ligero, Cavendish creía que había aislado al mismo flogisto.

Mientras tanto, la composición del aire estaba siendo objeto de un muy próximo escrutinio. Uno de los primeros en probar que contenía una mezcla de gases fue un químico escocés, Joseph Black. Observó que una vela que ardía dentro de un recipiente cerrado, al cabo de un tiempo se apagaba. Había agotado algún componente del aire que favorecía la combustión, pero aún quedaba aire en el

recipiente. ¿De qué estaba formado el aire que quedaba? ¿Dióxido de carbono? No del todo, puesto que cuando Black extrajo el dióxido de carbono, al hacer pasar aire a través de un producto químico que absorbía dicho gas, todavía quedaba una cantidad considerable de aire.

Black sugirió a uno de sus discípulos, Daniel Rutherford (quien, digamos de pasada, era tío de Sir Walter Scott), que investigase aquel asunto. Rutherford realizó varios experimentos. Vio que si se introducía un ratón dentro de una cámara cerrada, pronto se moría, aparentemente tras haber gastado algún componente gaseoso vital. Los ratones no podían sobrevivir en el aire restante, aunque se hubiese extraído de él el dióxido de carbono.

¿Qué era aquel resto de aire, que mataba a los ratones y apagaba las velas? Rutherford trató de explicarlo mediante la teoría del flogisto. Creía que el aire en el que algo ardía o un ratón respiraba, se llenaba de flogisto. Cuando el aire se encontraba completamente «flogistizado» (tenía todo el flogisto que podía contener), nada ardía o vivía en él.

El «aire flogistizado» que Rutherford preparó era, naturalmente, nitrógeno (con trazas de los gases más raros del aire). Por tanto, puede ser considerado el descubridor del nitrógeno, aunque no supo de qué gas se trataba.

Un descubrimiento aún más excitante fue el realizado por un ministro inglés unitario, llamado Joseph Priestley (1733-1804). Priestley llegó a interesarse por la Ciencia después de conocer a un científico norteamericano y hombre de Estado, Benjamín Franklin, en 1766.

La iglesia de Priestley se encontraba cerca de una fábrica de cerveza. Este establecimiento le dio una oportunidad de estudiar gases, puesto que la fermentación de la malta producía burbujas de gas en enormes cantidades. En primer lugar, probó el gas para ver si podría permitir la combustión. Descubrió que no era así; quemó a fuego lento astillas de madera. El gas demostró ser dióxido de carbono. Priestley lo disolvió en agua y comprobó que formaba un agua burbujeante que resultaba acida y agradable de beber. En otras palabras, debemos dar las gracias a Priestley por la invención del «agua de soda» o «de Seltz».

Su mayor descubrimiento derivó de algunos experimentos con mercurio. Priestley comenzó por calentar mercurio con la luz solar concentrada a través de una gran

lupa. El calor determinaba que la brillante superficie del mercurio quedase revestida de una capa de polvo rojizo. Quitó el polvo y lo calentó en un tubo de ensayo. El polvo se evaporó en dos gases diferentes. Uno de esos vapores se condensó luego en gotitas de mercurio; era, simplemente, el mercurio original separado del gas que se había convertido en un polvo rojo. ¿Qué era, pues, el otro gas que había salido de aquel polvo? Priestley recogió dicho gas en una jarra e hizo pruebas con unos trozos de madera calentados a fuego lento. El gas hizo arder aquellos ennegrecidos trozos de madera con una viva llama... Además, una vela encendida ardía brillantemente en él. Y los ratones colocados en aquel gas se volvían muy activos. Priestley inhaló un poco de este gas y declaró que le hacía sentirse muy «ligero y cómodo».

Tras pensar en todo esto en los términos de la teoría del flogisto, Priestley decidió que el gas era «aire desflogistizado», es decir, aire al que se le hubiese quitado el flogisto. Naturalmente, aquel gas no era otra cosa que oxígeno puro.

Por desgracia, los estudios de Priestley fueron interrumpidos por la Revolución Francesa de 1789. Era abiertamente simpatizante de la Revolución, y esto constituía una actitud impopular en Inglaterra, que pronto entraría en guerra con el Gobierno revolucionario francés. En 1791, una turba de encolerizados ingleses quemó hasta los cimientos la casa de Priestley, en Birmingham. Consiguió escapar a Londres y, más tarde, a Estados Unidos, donde había sido invitado por su antiguo amigo, Franklin. Priestley vivió en Pennsylvania los diez años restantes de su vida.

Priestley, Rutherford y Cavendish, por así decirlo, dejaron flotando el asunto de la composición del aire. Como partidarios de la teoría del flogisto, dejaron abierta la posibilidad de que el aire fuese una sustancia simple, que cambiaba sus propiedades sólo cuando era «flogistizado» o «desflogistizado». Reservaremos para el capítulo próximo los descubrimientos de los gases que forman el aire.

UN QUÍMICO MUY POCO AFORTUNADO

Hasta ahora, los gases que hemos mencionado eran todos incoloros e insípidos, con apariencia, pues, de aire. En 1774, no obstante, fue descubierto un gas coloreado con un olor sofocante. El hombre que lo encontró fue un químico sueco llamado Karl

Wilhelm Scheele (1742-1786). Al igual que Cavendish, dedicó toda su vida a la Ciencia y no se casó nunca.

Scheele descendía de alemanes, pero vivió en Suecia durante toda su vida. Séptimo miembro de una familia de once hijos, era mancebo de botica a la edad de catorce años. En aquellos días, los farmacéuticos preparaban sus propios medicamentos y minerales, y a menudo se convertían en fervientes investigadores en Química.

Scheele se convirtió en el más prolífico descubridor de nuevas sustancias en la historia de la Química. Descubrió varios ácidos débiles en el mundo de las plantas (como, por ejemplo, el ácido tartárico, el gálico, el málico, el cítrico y el oxálico) y un gran número de nuevos gases, como el sulfuro de hidrógeno, el fluoruro de hidrógeno y el cianuro de hidrógeno. Esos gases daba la casualidad que eran muy tóxicos, pero Scheele evitó morir intoxicado, aunque, inocentemente, inhaló cianuro de hidrógeno, por ejemplo, para enterarse de su olor. Scheele fue también el primero en demostrar que los huesos contenían fósforo. Entre sus otros descubrimientos se encontraba el compuesto arseniuro de cobre, el cual es aún conocido hoy día como «verde de Scheele».

No obstante, cuando se trató de los elementos químicos, Scheele fue, probablemente, el químico con más mala suerte de todos los tiempos. Una y otra vez, perdió el derecho a un descubrimiento por el espesor de un cabello.

Por ejemplo, preparó oxígeno (en 1771) tres años antes que Priestley, y estudió el nitrógeno antes que Rutherford. Llamó al oxígeno «aire de fuego», porque las cosas ardían tan de prisa, y llamó al nitrógeno «aire viciado», porque parecía tan consumido que no permitiría la combustión. Scheele escribió una descripción de sus experimentos y envió el manuscrito a un editor, pero éste retrasó el echarle un vistazo durante años. Para cuando apareció impreso, Rutherford y Priestley ya habían informado de sus experimentos y fueron ellos los que recibieron la fama por sus descubrimientos.

Scheele también llevó a cabo experimentos que mostraban la presencia de manganeso, tungsteno y molibdeno en minerales. No obstante, en cada caso alguien más había aislado el metal y conseguido que se le atribuyera el descubrimiento. Gahn (el descubridor del manganeso) y Hjelm (el descubridor del molibdeno) fueron muy amigos de Scheele. Los hermanos Elhúyar habían visitado a

Scheele antes de encontrar el tungsteno. Pero todo lo que Scheele consiguió de sus fructíferos estudios de minerales fue el que diesen en su honor su nombre a un mineral: «scheelita», un mineral con el que preparó por primera vez un compuesto de tungsteno.

TABLA 4

ELEMENTOS DESCUBIERTOS EN LA ERA DEL FLOGISTO

ELEMENTO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Fósforo	1669	Brand
Cobalto	1735	Brandt
Platino	1748	Ulloa
Níquel	1751	Cronstedt
Hidrógeno	1766	Cavendish
Nitrógeno	1772	Rutherford
Oxígeno	1774	Priestley
Cloro	1774	Scheele
Manganeso	1774	Gahn
Molibdeno	1781	Hjelm
Telurio	1782	Müller
Tungsteno	1783	Juan José de Elhúyar Fausto de Elhúyar

La coronación de estos casi aciertos, y por el que es mejor conocido, fue su descubrimiento del cloro. En 1774, trató un mineral llamado «pirolusita» con ácido clorhídrico (al que Scheele llamó «ácido marino»). La reacción química produjo un gas verdoso con un olor sofocante y desagradable. Observó que blanqueaba las hojas verdes y corroía los metales. Scheele pensó que este gas se había formado al retirar el flogisto del ácido clorhídrico, por lo que llamó al gas «ácido marino desflostigizado».

Scheele fue claramente el descubridor de este gas, que más tarde sería llamado cloro, de una palabra griega que significa «verde». Pero no reconoció al gas como un elemento, y, por esta razón, a veces incluso se ha visto privado de su descubrimiento.

La insólita mala suerte de Scheele se extendió incluso a su salud. Sufrió varios agudos ataques de reuma, probablemente agravados por las largas horas que había dedicado al trabajo nocturno, y murió a la edad de cuarenta y tres años.

Su muerte señala el fin de la era del flogisto. En la tabla 4 exponemos la relación de los doce elementos descubiertos durante este período.

Capítulo 6
El Padre de la Química

Una de las razones de que la teoría del flogisto floreciera durante tanto tiempo, radicaba en que los químicos no prestaban atención al aspecto cuantitativo de su ciencia. Mezclaban sustancias, observaban y describían sus polvos y sus gases con gran cuidado, pero no los medían. No les preocupaba que esas sustancias ganasen o perdiesen peso de forma sorprendente durante sus transformaciones. Para los primeros químicos, eso parecía tener escasa importancia.

Pero luego apareció un hombre que declaró que la medición era lo más importante, que debería constituir la base de todos los experimentos químicos. Este hombre es considerado ahora el «padre de la Química». Fue Antoine Laurent Lavoisier, de Francia (1743-1794).

Lavoisier había nacido en París, en el seno de una familia acomodada. Lo tuvo todo. Recibió una excelente educación, consiguiendo primero licenciarse en Derecho (su padre era abogado), luego estudió Astronomía, Historia Natural y Química. Bien parecido y brillante, se casó con una hermosa e inteligente joven, con quien llevó una vida muy feliz. Su mujer se interesó personalmente por su tarea y trabajó a su lado.

Seguramente, no podría imaginarse una descripción más feliz. Sin embargo, había un germen de tragedia en la posición de Lavoisier. Su mujer era hija de uno de los jefes ejecutivos de *La Ferme Générale*, una empresa privada que recaudaba los impuestos para el Gobierno de Luis XVI. El propio Lavoisier era miembro de esta empresa. La Ferme Générale operaba como una concesión y obtenía beneficios de todo lo que recaudaba por encima de la suma fijada para pagar al Gobierno. Así, pues, extorsionaba todo lo que podía a la gente que pagaba los impuestos, que estaba compuesta por los comerciantes de la clase media y los campesinos, dado que la aristocracia estaba exenta de pagar impuestos. Como es natural, los contribuyentes odiaban a La Ferme Générale, incluso más de lo que odiaban al Gobierno del rey, y cuando dio principio la Revolución francesa, la concesionaria de impuestos constituyó uno de sus principales objetivos...

Pero antes de que llegara el día de rendir cuentas, Lavoisier dispuso de veinte años de trabajo en Ciencia y Tecnología, que fue de enorme beneficio para el pueblo francés y para la Ciencia. Se ocupó en métodos para el abastecimiento de agua corriente a París y en la iluminación de sus calles por las noches. Ayudó al descubrimiento de nuevas formas de fabricación de salitre, uno de los ingredientes de la pólvora. Incluso antes de que realizara sus trabajos más importantes en Química, Lavoisier fue admitido, a la edad de veinticinco años, en la Academia Royale des Sciences, la más famosa sociedad científica francesa.

Poco después, en uno de sus primeros experimentos químicos, Lavoisier demostró la importancia de medir las cosas con precisión. Repitió un experimento clásico de los alquimistas, que lo consideraban una clara prueba de la transmutación de un «elemento». Cuando el agua, incluso el agua destilada, era hervida con lentitud en una vasija de cristal, siempre quedaban algunos sedimentos en el utensilio. Esto, según decían los alquimistas, mostraba que parte del agua se había convertido en «tierra».

Lavoisier sospechaba que la verdadera respuesta era algo más, e imaginó una forma de probar su punto de vista. Colocó un poco de agua de lluvia (agua que había sido destilada por la Naturaleza) en un matraz limpio e hirvió después el agua durante ciento un días. El recipiente había sido diseñado para que todo el agua evaporada se condensase en la parte superior de la vasija y luego volviese a gotear. Así, la misma agua se evaporaba y condensaba una y otra vez.

Al final de aquellos ciento un días, Lavoisier detuvo la ebullición y dejó condensar todo el agua. Había un poco de sedimento en el fondo del matraz. Lo rascó y ahora pesó el agua y el matraz por separado. Había pesado ambas cosas, con la balanza de más precisión que pudo encontrar, antes de comenzar el experimento. Ahora halló que el agua tenía exactamente el mismo peso que el agua de lluvia colocada originariamente. Pero el matraz había perdido peso... Y lo que es más, su pérdida de peso era exactamente igual al peso del sedimento. Por tanto, sólo existía una posible respuesta: el agua hirviendo había disuelto parte del cristal. El sedimento no era «tierra», sino, simplemente, cristal disuelto que desaparecía de la solución cuando el agua se enfriaba.

POR QUÉ ARDEN LAS COSAS

Las investigaciones de Lavoisier en métodos de iluminación de las calles de París, le habían llevado a considerar varios combustibles para las lámparas, así como la naturaleza general de la combustión. Ahora abordó el problema de la combustión con sus métodos cuantitativos.

Colocó un poco de estaño en un recipiente cerrado y lo pesó todo, incluido el recipiente. Luego pesó el recipiente. Un residuo se formó en el estaño. Ya era sabido, como hemos indicado, que el residuo de un metal es más pesado que el metal en sí. Sin embargo, cuando Lavoisier pesó el recipiente, descubrió que la formación del residuo de estaño no aumentaba el peso del contenido del recipiente. Naturalmente, el residuo en sí era más pesado que el estaño original. Esto significaba que debía de haber ganado peso a expensas de algo más en el recipiente.

Cuando Lavoisier abrió el recipiente, el aire se precipitó dentro y el sistema aumentó de peso. Este incremento era igual al peso extra del residuo. Así, pues, el residuo debía de haber tomado algo del aire original.

Estos experimentos probaban un punto fundamental que Lavoisier averiguó que era cierto en toda clase de reacciones químicas: la materia puede cambiar de forma, pero el peso total de la materia implicada siempre sigue siendo el mismo. Cuando una sustancia gana o pierde peso en aire, toma algo del aire y le da algo a éste. Esto lo mostró al pesar todo el sistema, vapores incluidos. El principio que demostró fue más tarde llamado «Ley de conservación de la masa».

¿Qué tomaba el estaño del aire cuando formaba el residuo? Lavoisier decidió que debía de ser el «aire desflogistizado» de Priestley, es decir, la porción de aire que queda después de haber sido tratado para retirar el «flogisto». Para probar su idea, Lavoisier calentó metales en «aire desflogistizado». Los metales absorbían todo este gas.

Lavoisier concluyó que el aire estaba formado por dos gases: el «aire desflogistizado» de Priestley, al que Lavoisier ahora llamó «oxígeno», y el «aire flogistizado» de Rutherford, al que denominó «azoe». Oxígeno deriva de las palabras griegas oxys = ácido, y gennao = engendrar, «que produce ácido»; aunque Lavoisier estaba equivocado al pensar que el oxígeno se hallaba presente en

todos los ácidos, su nombre para el gas ha quedado ya para siempre. Derivó «azoe» de las palabras griegas a, privado, y zoé = «carente de vida»; como recordarán, los ratones no podían vivir en el «aire flogistizado». Pero esta palabra de ázoe, aunque existe también en español, ha sido sustituida modernamente por nitrógeno, por el mineral de nitro con el que se prepara.

Lavoisier fue capaz de mostrar que, aproximadamente, una quinta parte del aire corriente era oxígeno y nitrógeno las otras cuatro quintas partes.

Ahora Lavoisier presentó una nueva teoría de la combustión, para remplazar a la más antigua del flogisto. Cuando una sustancia arde o se inflama, afirmó, se combina con oxígeno para formar un «óxido». Al quemar carbón de madera se formaba un óxido de carbono (bióxido de carbono). Un metal enmohecido forma un óxido («residuo»), que tiene el peso del metal más el peso del oxígeno con el que se ha combinado. Cuando el carbón vegetal se calienta con un óxido metálico, restaura el metal original, no porque se añada flogisto, sino, simplemente, porque ha eliminado el oxígeno del residuo.

Lavoisier publicó su teoría del oxígeno de la combustión en 1783. En el mismo año se consiguió un gran impulso en el problema con un experimento de Cavendish, el genio inglés, que estaba también tratando de probar todo lo contrario. Cavendish, insistiendo en la teoría del flogisto, pensaba que el «aire inflamable» que había preparado era flogisto. Si lo añadía al «aire desflogistizado», razonaba, conseguiría «aire flogistizado». Como sabemos ahora, lo que se proponía era quemar hidrógeno en oxígeno y, por tanto, formar nitrógeno.

Naturalmente, no consiguió nada de todo esto. Tras quemar su «aire inflamable» con «aire desflogistizado», y recoger el vapor producido, averiguó que se condensaba en un líquido claro que demostró ser agua...

Cavendish informó del resultado con gran exactitud, pero no supo cómo interpretarlo. Tan pronto como Lavoisier se enteró de ello, supo la respuesta, y pudo confirmarla por medio de experimentos. El «aire inflamable» de Cavendish, dijo, era un gas al que él denominaba «hidrógeno», de las voces griegas que significaban «formador de agua». El hidrógeno y el oxígeno combinados forman agua. El agua era el óxido del nitrógeno; o sea, su «residuo» por decirlo así.

Este último experimento, enterró, por fin, las nociones de los antiguos griegos respecto de los elementos. Demostró que el agua no era un elemento, sino un compuesto de hidrógeno Y lo que es más, también acabó con la teoría del flogisto que ya estaba moribunda. Con esas muertes, había nacido la Química moderna.

Si Lavoisier tenía un defecto, éste era que mostraba gran ansiedad por conseguir más renombre que el que ya se merecía. En los informes que presentó de sus trabajos pasó por alto mencionar que conocía los experimentos de Priestley y que ya había discutido la obra de Priestley con el propio Priestley. Dejó la impresión de que había sido él solo quien descubriera el oxígeno. Ni tampoco dejó claro que había llevado a cabo el experimento de la combustión del hidrógeno poco después de enterarse de los trabajos de Cavendish.

Priestley y Cavendish debieron de quedar resentidos por esta conducta poco ética por parte de Lavoisier. De todos modos, ninguno de ellos aceptó la teoría del oxígeno de Lavoisier para la combustión. Ambos siguieron convencidos de la verdad de la teoría del flogisto hasta el día de su muerte. Pero la historia no les ha privado de la fama por sus importantes experimentos precursores que condujeron a la nueva química.

Aunque ya de una forma bastante rara, la Alquimia y los fraudes alquímicos continuaron durante décadas después de Lavoisier. El emperador Francisco José, de Austria-Hungría, un medievalista de fines del siglo xix, aún entregó dinero a los falsificadores, en 1867, que afirmaban ser capaces de fabricar oro partiendo de plata y mercurio. En realidad, incluso hoy día existen místicos y chiflados que creen en la Alquimia, como algunas personas aún tienen fe en la Astrología, en la Numerología, en la Frenología y en otras formas de misticismo.

EL NUEVO LENGUAJE

Los servicios de Lavoisier a la Química incluyen la acuñación de un nuevo sistema para denominar a los productos químicos. Los alquimistas habían revestido su ignorancia (o su decepción) con un lenguaje fantasioso y poético. Hablaban del oro como del «Sol» y de la plata como de la «Luna». De los metales, originariamente conocidos, como «azogue» o «agua plateada», les dieron el nombre del planeta

Mercurio. Llamaron a la mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico, con la que se puede disolver el oro, «agua regia», un nombre que todavía se sigue usando hoy.

Los químicos se hubieran encontrado desesperadamente dificultados en sus trabajos si hubiesen continuado ofuscados por el fantasioso lenguaje de los alquimistas. Debía producirse un nuevo arranque de las cosas, y Lavoisier, junto con algunos otros químicos franceses, elaboró un nuevo sistema de nomenclatura química.

Este sistema está basado en los nombres de los elementos y designa a los compuestos de acuerdo con los elementos con que están formados. Así a la sal, un compuesto de sodio y cloro, se la llamó «cloruro sódico». El gas formado por hidrógeno y azufre es «sulfuro de hidrógeno». Un ácido que contenga azufre es «ácido sulfúrico». Y todo a este tenor.

El sistema también posee nombres familiares para compuestos que contengan diferentes proporciones de un elemento determinado. Por ejemplo, existe una serie de cuatro ácidos compuestos de hidrógeno, cloro y oxígeno. Distribuidos en orden al contenido creciente de oxígeno, se les denomina:

1. Ácido hipocloroso;
2. ácido cloroso;
3. ácido dórico;
4. ácido perclórico.

Si el hidrógeno de cada ácido es remplazado por el sodio, el resultado de los compuestos es el siguiente:

1. Hipocloruro sódico;
2. cloruro sódico;
3. clorato sódico;
4. perclorato sódico.

La tendencia a una nomenclatura lógica se extendió a los mismos elementos. Antes de 1800, los elementos habían sido denominados según la fantasía de los descubridores y sin existir en absoluto ninguna regla. Después de 1800, se hizo

habitual denominar a todos los nuevos elementos metálicos con la terminación «o» o «io», y los elementos no metálicos con la terminación «on» o «ina». Con una excepción (que mencionaremos después), todos los elementos que no tengan esas terminaciones fueron descubiertos antes de la época de Lavoisier.

En 1789, Lavoisier publicó el primer texto moderno de Química. Su título fue Traite élémentaire de chimie (Tratado elemental de Química). En este libro, discutió todo el conocimiento sobre Química a la luz de su nueva teoría de la combustión y empleó su moderna nomenclatura. Hizo una lista de los elementos conocidos en su tiempo. La lista de Lavoisier de treinta y tres «elementos» presenta algunos curiosos apartados. Por ejemplo, incluyó la «luz» y el «calórico» (calor) entre estos elementos. Pero veintitrés de los treinta y tres eran auténticos elementos.

El libro de texto de Lavoisier fue traducido a muchos idiomas y extendió la nueva química por todas partes. Pero Lavoisier no vivió para presenciar su impacto mundial. El año 1789, el año de la publicación de su tratado, fue también el de la Revolución francesa. Lavoisier trabajaba retirado en su laboratorio, evitando la política, pero, en 1792, los extremistas que se habían apoderado del mando de la Revolución, finalmente acabaron arrestándole como «recaudador de impuestos». Lavoisier protestó que él era un científico, no un cobrador de tributos. El oficial que le arrestó le contestó, airado:

—La República no tiene necesidad de científicos.

El extremista Jean Paul Marat, que se consideraba él mismo un científico, odiaba profundamente a Lavoisier, porque el químico le había vetado cuando Marat solicitó su ingreso en la Académie Royale des Sciences. Marat abogó personalmente porque Lavoisier fuese condenado a la guillotina. El propio Marat fue asesinado poco después del veredicto, pero, a pesar de ello, el 2 de mayo de 1794, Lavoisier era decapitado.

Irónicamente, sólo diez semanas después la cordura volvió a Francia y los extremistas fueron derrocados. La ejecución de Lavoisier continúa siendo la mayor tragedia individual de la Revolución francesa. La Ciencia y la Química, ciertamente, sufrieron una gran pérdida con su muerte a la aún muy fructífera edad de cincuenta años.

Capítulo 7
Las Partículas Invisibles

La nueva química de Lavoisier hizo aún más intrigante que nunca la antigua pregunta: ¿Qué era, a fin de cuentas, un elemento? ¿Qué distinguía a unos de otros? Existía una larga y creciente lista de elementos, muchos de los cuales poseían algunas propiedades comunes. Por ejemplo, el hierro, el cobalto y el níquel eran muy similares en diversas formas, pero el hierro no podía cambiarse en níquel o cobalto, lo mismo que el plomo no podía ser transmutado en oro. El hidrógeno, el nitrógeno y el oxígeno eran todos ellos gases incoloros, pero los tres se comportaban de maneras muy diferentes cuando se les calentaba, y ninguna cantidad de tratamiento violento podía transformarlos al uno en el otro.

Al cabo de dos décadas de la muerte de Lavoisier, el misterio de la inmutabilidad de los elementos estaba resuelto. En realidad, la clave para todo aquel asunto había sido conjeturada por unos cuantos inspirados griegos hacía ya más de dos mil años.

El filósofo griego Anaxágoras parece haber sido el primero en sugerir que toda la materia estaba hecha de pequeñas partículas. Leucipo de Mileto quedó intrigado por la idea y la discutió con su discípulo Demócrito (al que no debe confundirse con el alquimista Bolos Demócrito).

Demócrito desarrolló más tarde esta idea. Había nacido en una pequeña ciudad del Egeo llamada Abdera. Los griegos consideraban a Abdera como una típica población de palurdos, y empezó a denominar «abderitas.» a los tipos ignorantes del campo. Demócrito fue un abderita que podía ser cualquier cosa menos ignorante. Se convirtió en uno de los más famosos filósofos de Grecia. (Digamos de paso que le llamaban el «Filósofo sonriente», debido a su aspecto jovial.)

Demócrito decidió que unas partículas invisibles eran las que formaban cada elemento, y que la naturaleza del elemento dependía de la forma de las partículas. Así, el agua debía de estar formada por esferas suaves, lo cual explicaría el porqué el agua fluiría con tanta facilidad; las partículas de «tierra» deberían ser cubos, lo cual estaría en relación con la dureza y estabilidad de ese «elemento»; las partículas de «fuego» serían aguzadas y puntiagudas, lo cual explicaría por qué el

fuego lastima. De estos varios tipos de partículas, decía Demócrito, deberían estar construidas todas las sustancias conocidas.

Llamó a las pequeñas partículas «átomos» (de una palabra griega que significa invisible), porque sostenía que no podían ser destruidos o desmenuzados en otros más pequeños.

Desgraciadamente, la teoría de Demócrito fue ridiculizada por Aristóteles, el más influyente de todos los antiguos filósofos. Además, los escritos de Demócrito se perdieron, por lo que sus ideas sólo pudieron ser conservadas en forma de ocasionales referencias críticas a los mismos por parte de los demás filósofos.

Sin embargo, la teoría de los átomos no murió. Epicuro de Samos fue un acérrimo partidario de las ideas de Demócrito. En el último siglo antes de Jesucristo, el filósofo romano Lucrecio, un epicúreo, revivió la teoría atómica con su famoso De rerum natura (De la naturaleza de las cosas). El libro de Lucrecio, escrito en latín, continuó teniendo influencia a través de toda la Edad Media. Y lo mismo sucedió con un libro de un filósofo naturalista griego del siglo iii, llamado Herón; su obra, titulada Pneumática (Acerca del aire), describía experimentos con el aire y explicaba los resultados en unos términos de la teoría de que el aire estaba compuesto de átomos.

Luego, en el siglo xvii, los experimentos de Robert Boyle prestaron más apoyo a la teoría, cuando mostró que, una cantidad dada de aire, podía ser comprimida hasta adquirir un volumen cada vez más pequeño al incrementar la presión. Esto, ciertamente, indicaba que el aire estaba compuesto de partículas rodeadas de espacios vacíos.

A través de los siglos xvii y xviii, el «atomismo» alzó cada vez más interés. El gran Isaac Newton creía en la existencia de átomos. Pero la prueba de su existencia no se obtuvo hasta que los químicos comenzaron a estudiar sustancias por métodos de pesada, que habían sido introducidos por Lavoisier.

En 1797, Joseph Louis Proust, un francés que trabajaba en España, alcanzó un importante descubrimiento a partir del peso de los compuestos. Averiguó que los elementos siempre se combinaban en ciertas definidas proporciones según el peso. Por ejemplo, en el carbonato de cobre, un compuesto de cobre, carbono y oxígeno,

la proporción de peso era siempre de cinco partes de cobre, cuatro de oxígeno y una de carbono, es decir, una proporción de 5 : 4 : 1.

La «ley de las proporciones definidas» de Proust fue la primera confirmación específica de la idea atómica. Si la materia estaba hecha de indivisibles bloques de construcción, esto era exactamente lo que uno esperaría encontrar: elementos que se combinarían en una proporción numérica, como por ejemplo, cinco a uno, o cuatro a uno, y nunca cinco y cuarto a uno, o cuatro y medio a uno, porque no se puede conseguir una fracción de los átomos.

Luego se produjo una posterior observación, la cual realmente estableció la teoría atómica. El hombre que dio aquel paso, y formuló la teoría en unos términos comprensibles, fue John Dalton, de Inglaterra (1766-1844).

Dalton era un maestro de escuela cuáquero, en una pequeña ciudad inglesa. Se convirtió en un entusiasta del saber, que se interesó por todas las ciencias. Entre otras cosas, construyó instrumentos para estudiar el tiempo, trazó cuidadosos registros diarios del tiempo, durante cuarenta y seis años, y escribió un libro, que le permite ser considerado uno de los fundadores de la ciencia de la Meteorología. Otro de sus logros fue el descubrimiento de la ceguera a los colores, que aún se sigue llamando «daltonismo» en su honor. Dalton era, personalmente, ciego a los colores. Pero este inconveniente no le impidió dedicarse a la Química y conseguir sus mayores descubrimientos.

Dalton empezó con la ley de Proust de las proporciones definidas. Se sentía particularmente sorprendido con el hecho de que dos elementos pudiesen combinarse en más de una forma. Por ejemplo, había dos diferentes óxidos de carbono: el bióxido de carbono y el monóxido de carbono (naturalmente, los gases no eran entonces conocidos con esos nombres). En el bióxido de carbono, la proporción del oxígeno y del carbono, por pesos, era de 8 a 3; en el monóxido de carbono, de 4 a 3. En otras palabras, la proporción de oxígeno en e] primer compuesto era exactamente dos veces que en el segundo. Dalton llamó a su descubrimiento la «ley de las proporciones múltiples».

¿Y eso qué significaba? Si tomamos el caso de los óxidos de carbono, ¿qué otra cosa podía significar, excepto que el bióxido de carbono tenía dos átomos de oxígeno por

uno de carbono, y el monóxido de carbono tenía un átomo de oxígeno por otro de carbono?

Inmediatamente después (en 1803), Dalton se dedicó a la teoría atómica y trabajó en ella, por primera vez, con un detalle racional. Cada elemento consistía en una clase particular de átomo. Los átomos de varios elementos diferían en el peso. Dado que en un compuesto de un carbono por un oxígeno (monóxido de carbono), la proporción de carbono a oxígeno en peso era de 3 a 4, el átomo de carbono debía de ser las tres cuartas partes del peso del átomo de oxígeno. De este modo Dalton elaboró los pesos relativos de un gran número de elementos. Decidió que la distinción clave entre los diferentes elementos, radicaba en las diferencias en su peso atómico.

Aquí había una razonable explicación de por qué el plomo no podía transformarse en oro, o el hierro en cobalto, o el hidrógeno en nitrógeno. Para convertir un elemento en otro se necesitaba cambiar los átomos de un peso en átomos de otro peso, una cosa que era imposible de conseguir con la química (y que sólo se lograría con la física nuclear en el siglo xx).

Dalton publicó su teoría atómica en un libro, con el título de Nuevo sistema de filosofía química. Su «nuevo sistema» encontró resistencia, pero la mayoría de los químicos la aceptaron en seguida.

¿Por qué, de repente, se aceptaban con entusiasmo las opiniones de Dalton, mientras que durante miles de años los científicos no habían tomado en serio la sugerencia de Demócrito sobre la misma idea? Lo que ocurría es que, en realidad, todo el telón de fondo había cambiado. Ahora se llevaba ya siglo y medio de detalladas observaciones y experimentos para respaldar la interpretación de Dalton. Demostró que su teoría atómica podía explicar todas las observaciones y mediciones.

UNA VARIEDAD DE «TIERRAS»

El descubrimiento de los nuevos elementos se aceleró. Ya lo había hecho incluso antes de que Dalton expusiera su teoría. Uno de los más activos descubridores fue un químico alemán llamado Martin Heinrich Klaproth (1743-1817). Al igual que

Scheele, Klaproth comenzó como mancebo de botica y llegó a convertirse en una gran autoridad en minerales y profesor de Química en la Universidad de Berlín.

En 1789, el año de la publicación del tratado de Lavoisier, Klaproth estaba investigando un mineral oscuro y pesado, que se había encontrado en una antigua mina de Bohemia. Disolvió el mineral con un ácido fuerte y luego neutralizó el ácido. Se depositó polvo amarillo. Klaproth decidió, correctamente, que aquello era óxido del nuevo metal.

Siguiendo la pauta de los alquimistas que habían denominado a los elementos conforme a los planetas, Klaproth asignó al metal el nombre del planeta Urano, que había sido descubierto en los cielos apenas ocho años antes. Así que el nuevo elemento fue llamado «uranio». En el mismo año, Klaproth extrajo el óxido de otro nuevo metal de una piedra semipreciosa llamada circón, y denominó a este elemento «circonio»[1].

Klaproth era un hombre que no albergaba deseos de alcanzar fama alguna que no le correspondiese. Anotó que, en 1782, Franz Joseph Müller había descubierto un elemento nuevo que fuera pasado por alto y al que todavía no se le había dado nombre (véase capítulo 5). Klaproth llamó la atención del mundo científico y denominó al elemento «telurio» («tierra»). Tuvo cuidado de señalar que la fama de aquel descubrimiento pertenecía a Müller.

Hizo lo mismo por otro sacerdote inglés llamado William Gregor, el cual, en 1791, descubrió el óxido de un nuevo metal en una arena negra que encontró en su propia parroquia. La descripción de Gregor pasó inadvertida hasta que Klaproth llamó la atención hacia ella. De nuevo sugirió un nombre para aquel elemento —«titanio» (según los titanes de la mitología griega)—, y atribuyó a Gregor la fama del descubrimiento.

La virtud siempre trae aparejada su recompensa. Lavoisier nunca recibió la fama de descubridor de elementos, como tanto ansiaba. Por otra parte, Klaproth, que hizo todo lo que pudo por evitar una fama inmerecida, sin embargo, a menudo es considerado como el descubridor del telurio y del titanio.

---

[1] Por lo general, la fama por el descubrimiento de un elemento pertenece al hombre que lo ha aislado por primera vez. No obstante, en algunas ocasiones se le atribuye al hombre que ha purificado por vez primera el óxido y muestra que debe contener un nuevo elemento. Klaproth nunca aisló el uranio (aunque pensara haberlo hecho) o el circonio. En realidad, ninguno de estos dos metales fue conseguido con una razonable pureza hasta el siglo XX. *(N. del A.)*

Los óxidos de uranio, circonio y titanio fueron llamados «tierras» porque eran insolubles en agua y no se veían afectados por el calor. En 1794, fue descubierta una particularmente interesante nueva «tierra», en un mineral obtenido en una cantera de piedra en la pequeña ciudad de Ytterby, en Suecia. Acabó por llegar a manos de un químico finlandés llamado Juan Gadolin, otro de los discípulos de Bergman (véase capítulo 5). Gadolin llamó al nuevo metal «itria», por el nombre de la ciudad, y el metal en sí llegó con el tiempo a ser conocido como «itrio». Y Gadolin consiguió se le atribuyera su descubrimiento.

Esta nueva «tierra» era en extremo infrecuente, por lo cual se la llamó «tierra rara». Muy pronto aparecieron otras «tierras raras».

Un muchacho sueco de quince años, llamado Wilhelm Hisinger, encontró un interesante mineral en la finca de su padre, y lo envió a Scheele para su análisis. El pobre y desafortunado Scheele no encontró nada desacostumbrado en él, pero Hisinger siguió conservando su interés por el mineral y, posteriormente, a la edad de treinta y siete años, mostró que contenía un nuevo elemento. Lo llamó «cerio», por el asteroide Ceres, que había sido descubierto en 1801.

En 1798, un químico francés, Louis Nicolas Vauquelin, estaba analizando un mineral que había sido descubierto en Siberia. Consiguió del mismo unos hermosos compuestos rojos y amarillos, que se volvían de un brillante color verde cuando se añadían determinados productos químicos. De estos compuestos extrajo el óxido de un nuevo metal y, calentando el óxido con carbón vegetal, aisló trozos del metal en sí. Lo llamó cromo, de la palabra griega chroma, que significa «color».

Al año siguiente, Vauquelin descubrió un óxido de otro nuevo metal en una gema semipreciosa llamada berilo. Este metal sería denominado berilio.

Aproximadamente hacia el mismo tiempo, Estados Unidos contribuyó con un nuevo elemento. Antes de la Revolución, el gobernador colonial había enviado a Londres un mineral raro encontrado en Connecticut. En 1801, un químico inglés, Charles Hatchett, cortó un trozo de la muestra y lo analizó. Decidió que contenía un nuevo metal y lo llamó «columbio», por Columbia, el poético sobrenombre de la nueva nación de Estados Unidos. Algunos años después, el químico inglés William Hyde Wollaston, tras analizar un segundo fragmento, declaró que el «columbio» era el mismo elemento que el «tantalio», que había sido descubierto por un químico

sueco, Anders Gustaf Ekeberg, y que le había puesto el nombre tomado de Tántalo, uno de los personajes de la mitología griega.

Finalmente, en 1846, el asunto fue zanjado por un químico alemán, Heinrich Rose, el cual probó que Hatchett tenía razón y que Wollaston estaba equivocado. El columbio era muy similar al tantalio, pero no idéntico a él. A causa de su semejanza con el tantalio, Rose dio al columbio el nuevo nombre de «niobio», por Níobe, la hija de Tántalo. Durante muchos años, los europeos llamaron al elemento niobio y los norteamericanos columbio, pero, en la actualidad, el nombre oficial es el de niobio.

Wollaston enmendó su yerro desenterrando algunos descubrimientos genuinos. Le gustaba trabajar con los minerales de platino, un metal muy fascinante. Al igual que el oro, era un «metal noble», es decir, que formaba compuestos con muchas dificultades y que, además, no se enmohecían u oxidaban. No era tan hermoso como el oro (ningún metal lo es), pero era mucho más raro y más valioso.

TABLA 5

ELEMENTOS DESCUBIERTOS EN LA ÉPOCA DE DALTON

ELEMENTO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Uranio	1789	Klaproth
Circonio	1789	Klaproth
Titanio	1791	Gregor
Itrio	1794	Gadolin
Berilio	1798	Vauquelin
Cromo	1798	Vauquelin
Niobio (columbio)	1801	Hatchett
Tantalio	1802	Ekeberg
Rodio	1803	Wollaston
Paladio	1803	Wollaston
Cerio	1803	Hisinger
Osmio	1804	Tenant
Iridio	1804	Tenant

Al igual que el oro, el platino podía ser disuelto en «agua regia». Pero dio la casualidad de que también se disolvieron con él algunas de sus impurezas. Wollaston separó esas impurezas, y en 1803, descubrió dos metales ligeros que eran similares en comportamiento al platino, pero no «nobles». Los llamó «paladio» y «rodio»: paladio en honor de un planetoide recientemente descubierto, Palas, y rodio, del griego rhodon, «de color rosa», puesto que el elemento formaba compuestos de ese color.

Otro químico inglés, Smithson Tennant (con quien Wollaston había trabajado en un tiempo como ayudante), encontró otros dos metales en el platino, pero que eran más «nobles» que el platino. No eran solubles en agua regia. Tennant les llamó «osmio» e «iridio». El osmio, del griego osme, que significa «olor», dado que uno de los compuestos del elemento tenía un aroma desagradable. El iridio fue denominado así de la palabra griega iris, «arco iris», por el gran colorido de sus compuestos.

Como resumen de este capítulo, en la tabla 5 presentamos una lista de los elementos descubiertos de los siglos XVIII al XIX.

Capítulo 8
Descubrimientos con Electricidad

La lista de Lavoisier de treinta y tres «elementos» incluía varias sustancias que algunos químicos creían que se trataba de compuestos. Éstos eran «cal», «magnesia», «barita», «alúmina» y «sílice».

La cal es una palabra que deriva del vocablo latino «calx». Se formaba al calentar piedra caliza. Magnesia llevaba este nombre por la ciudad griega cerca de la cual, de acuerdo con la leyenda, se había descubierto por primera vez. Barita, que se obtenía de un mineral muy pesado, deriva del griego barys, que significa «pesado». Alúmina procedía de un mineral muy corriente denominado «alumen» y sílice del pedernal, al que los romanos habían llamado «sílex».

Lavoisier consideraba que todos ellos eran elementos, porque no podían ser reducidos calentándolos con carbón vegetal. Pero otros químicos sospechaban que realmente eran óxidos, y buscaron otra forma de liberar su oxígeno y encontrar sus elementos constitutivos. Y tuvieron éxito al hallar un medio, que fue la electricidad.

En aquel tiempo, la electricidad era un nuevo juguete, muy excitante y popular. Benjamín Franklin había extraído electricidad de una nube de tormenta con su famosa cometa. Alessandro Volta, de Italia, acababa de inventar su pila eléctrica (en 1800). Las noticias de sus trabajos se extendieron con rapidez por el mundo científico, con un efecto tan electrizante como sus propias corrientes.

En Inglaterra, un científico llamado William Nicholson, y su joven amigo Anthony Carlisle, iniciaron en seguida unos experimentos químicos con electricidad. Introdujeron dos electrodos de una batería en agua ligeramente acidulada, y vieron que, al pasar la corriente eléctrica a través del agua originaba burbujas de gas que aparecían en cada electrodo. El gas resultó ser oxígeno en un electrodo e hidrógeno en el otro. En resumen, la electricidad descomponía el agua en hidrógeno y oxígeno: dos partes de hidrógeno y una parte de oxígeno. (Dalton, desarrollando su teoría atómica, había cometido el error de suponer que el agua contenía un átomo de hidrógeno por uno de oxígeno y, por consiguiente, la mayor parte de sus pesos atómicos eran incorrectos.)

El experimento de Nicholson-Carlisle demostraba que la electricidad podía separar dos elementos de un compuesto. Pronto se derivaron hechos muy importantes de esta demostración.

DAVY DA EN EL BLANCO

Dos jóvenes químicos siguieron por este camino. Se trataba de Jöns Jakob Berzelius, de Suecia (1779-1848) y Humphry Davy, de Inglaterra (1778-1829).

Berzelius, criado por su padrastro, pasó una infancia muy difícil y dura, pero al final consiguió asistir a la Facultad de Medicina y obtuvo su licenciatura. No obstante, no se hallaba muy interesado por los temas médicos. Lo que realmente le interesaba era experimentar en problemas químicos. Bajo la guía de su maestro (un sobrino del gran Bergman), emprendió investigaciones en este campo y se convirtió en el químico más importante de su tiempo.

Como profesor de química, Berzelius fue un apasionado conferenciante. Los estudiantes acudieron a él desde toda Europa. Sus puntos de vista acerca de cada rama de la Química se convirtieron casi en ley, aunque, a menudo, se equivocó... En la historia de la Química, la primera mitad del siglo xix puede ser considerada la «era de Berzelius».

Berzelius publicó un tratado de Química (en 1808), que sustituyó al de Lavoisier como primera autoridad en este tema. Durante casi treinta arios, publicó también un informe anual acerca del progreso de la Química. En sus últimos años, como un anciano estadista de la Química, el conservador profesor Berzelius, por lo general, consiguió encontrarse siempre en el lado equivocado de la mayor parte de las controversias acerca de las nuevas teorías. Pero acertado o equivocado, a través de toda su vida había constituido una fuerza estimuladora en el conjunto del excitante mundo de la Química.

Una de sus primeras contribuciones la constituyó el sugerir, después de repetir el experimento de Nicholson-Carlisle, que los elementos llevaban cargas de electricidad. A partir de aquí, puso en marcha una teoría de reacciones químicas que fue ampliamente aceptada, aunque demostró ser errónea. No obstante, la idea de las cargas eléctricas sobre los átomos, se comprobó que era acertada casi un siglo después.

Humphry Davy también fue un muchacho pobre en sus comienzos. Al igual que otros muchos químicos de su tiempo, trabajó como mancebo de botica. Empezó a interesarse por la Química después de leer el tratado de Lavoisier. En 1779, cuando tenía sólo veintiún años, de repente, se encontró con la fama al haber descubierto algo llamado «gas hilarante o de la risa».

Este gas es un óxido nitroso, un compuesto de dos átomos de nitrógeno y uno de oxígeno. Tan pronto como lo hubo preparado Davy, se descubrió que poseía asombrosas propiedades. La gente que respiraba el óxido nitroso parecía perder el dominio de sí mismo. Sus emociones se hacían ingobernables: reían, lloraban y, por lo general, se comportaban de una forma alocada. El respirar aquella droga se convirtió en una verdadera manía. (Hasta muchos años después no fue adoptada por la clase médica como anestésico, para extraer dientes u otras intervenciones menores.)

Dado el alcance de su descubrimiento, Davy se convirtió en un conferenciante popular sobre temas químicos. La Ciencia se hallaba en pleno apogeo. La nueva máquina de vapor y los vuelos en globo constituían los temas diarios de conversación, lo mismo que sucedió después con los cohetes y los astronautas. Davy era una persona bien parecida, un excelente orador y muy hábil en espectaculares demostraciones con electricidad y con otras maravillas de la nueva ciencia. Auténticas multitudes se reunían para escucharle.

Pero Davy estaba menos interesado en las conferencias que en los trabajos de laboratorio. ¿Y qué pasaría si se utilizara la electricidad para disociar aquellos compuestos tan íntimamente unidos que los químicos habían fracasado en separar?

Davy empezó primero con la sustancia llamada «potasa». Era, literalmente, una ceniza, obtenida al quemar ciertas plantas y luego al poner las cenizas en remojo en un gran recipiente. Davy comenzó por hacer pasar una corriente eléctrica a través de una solución de potasa. Todo cuanto consiguió fue hidrógeno y oxígeno, tras descomponer el agua. Decidió que debía llevar a cabo aquel experimento en ausencia de agua. Por tanto, mezcló potasa seca e hizo pasar la corriente a través de una mezcla calentada. Para ello, tuvo que fabricar unas grandes pilas capaces de suministrar unas corrientes más potentes que la pequeña pila original de Volta.

Al instante, aparecieron pequeños glóbulos en uno de los electrodos de platino. Davy estaba seguro de que aquella sustancia metálica era un nuevo elemento. Lo llamó «potasio» (de potasa). Descubrió que el potasio poseía una extraordinaria actividad química y que podía reaccionar con cualquier otra sustancia. En agua, por ejemplo, captaba los átomos de oxígeno y liberaba el hidrógeno con tal energía que éste se inflamaba.

Unos pocos días después, Davy intentó el mismo experimentó con sosa, también un producto obtenido tras quemar plantas. De la sosa aisló el «sodio», un elemento muy parecido al potasio.

Los árabes habían llamado a la sosa y a la potasa al-qili (que significa «la ceniza»). Ésta es la razón de que se haga referencia a estas sustancias como «álcalis», y el potasio y el sodio sean conocidos como metales alcalinos.

Tras aislar estos elementos, Davy se dedicó a tratar de separar algunos de los «elementos» de Lavoisier, comenzando con la cal. Al principio, no consiguió nada. Pero, llegados a este punto, Berzelius acudió en su ayuda. Berzelius había descubierto que, cuando añadía un compuesto de mercurio a la cal, o la barita, y hacía pasar una corriente a través del mismo, conseguía una «amalgama» de mercurio y algún otro metal. Escribió a Davy contándole sus resultados. Esto permitió a Davy comenzar de nuevo. Preparó la amalgama y luego la calentó fuertemente.

El ensayo dio resultado. De la amalgama obtenida de la cal, aisló un metal al que llamó «calcio» (de la palabra latina calx). A partir de la barita consiguió «bario», y de la magnesia aisló el «magnesio». Siguió aplicando el mismo tratamiento a un mineral que tenía un nombre derivado de la ciudad escocesa de Strontian, y, a partir de él, separó otro elemento metálico: el «estroncio».

Estos tres elementos son conocidos en la actualidad con el nombre de «metales alcalinotérreos».

PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE DAVY

Davy puede ser también relacionado con otros dos elementos.

En 1810, informó de unos experimentos que parecían mostrar que el gas verde que Scheele había obtenido del ácido clorhídrico era un elemento, no un compuesto,

como Scheele había creído. Davy lo llamó «cloro» por su color verde. Durante años, Berzelius y los químicos franceses Joseph Louis Gay-Lussac y Louis Jacques Thénard negaron que el cloro fuese un elemento. Pero Gay-Lussac y Thénard fracasaron en sus esfuerzos para separarlo en sustancias más simples. (Digamos de pasada que Gay-Lussac ascendió a seis kilómetros de altura en un globo, en 1804, para comprobar la composición del aire a grandes alturas. Fue uno de los primeros científicos importantes en aventurarse de esta manera en la tercera dimensión.)

Finalmente, el asunto fue resuelto de forma indirecta a través del descubrimiento de un elemento parecido al cloro por otro químico francés, Bernard Courtois. Estaba experimentando con las cenizas de algas, una buena fuente de sodio y de potasio. Al tratar las cenizas con un ácido fuerte para retirar los compuestos de azufre, Courtois se percató de que salía un vapor de color violeta. Enfrió los cristales oscuros de una nueva sustancia. Decidió que se trataba de un elemento y lo denominó «yodo», por la voz griega que designa el color violeta.

El yodo demostró ser muy similar químicamente al cloro. Si el yodo era un elemento, parecía muy verosímil que el cloro también lo fuese. Este razonamiento convenció a Berzelius.

En 1826, se obtuvo un posterior descubrimiento que acabó de resolver el asunto. Un químico francés llamado Antoine Jérôme Balard, que trabajaba con sales precipitadas de agua de mar, descubrió que, al añadir ciertos productos químicos, la volvían de color pardo. Siguió el rastro de este color pardo hasta llegar a un nuevo elemento con un fuerte y desagradable olor. Balard lo denominó bromo, del griego brômos, fetidez.

El bromo, el yodo y el cloro formaban todos ellos compuestos similares: por ejemplo, las sales de bromo y yodo son muy parecidas al cloruro sódico. Por esta razón, esos tres elementos son llamados «halógenos», de las palabras griegas halós, sal, y gennao, engendrar, «formadores de sal».

No obstante, Gay-Lussac y Thénard vencieron a Davy en otra competición. Durante muchos años, los químicos habían intentado aislar un nuevo elemento del bórax. Lavoisier estaba tan seguro de que su ácido, el ácido bórico, contenía semejante elemento que incluyó el «radical bórico» en su lista de elementos. En 1808, Gay-

Lussac y Thénard decidieron arrancar una hoja del libro de Davy e ir detrás de este elemento.

Davy había demostrado que los átomos de potasio se adherían con mucha fuerza a los de oxígeno. Por tanto, debía de existir una afinidad más intensa hacia los átomos de oxígeno que hacia los de carbono, porque, al calentar potasa con carbón vegetal, no se conseguía separar el potasio del oxígeno. Por tanto, Gay-Lussac y Thénard trataron de calentar ácido bórico con potasio, al tener la idea de que, ya que el potasio poseía tanta afinidad hacia el oxígeno, debía apoderarse y separar el oxígeno donde el carbono había fracasado. (Digamos, de paso, que Napoleón Bonaparte había financiado sus experimentos, porque deseaba una victoria científica sobre Inglaterra, con la que Francia estaba en guerra en aquel tiempo. Como pueden ver, la rivalidad científica entre naciones, con propósitos de propaganda, no es un nuevo fenómeno de nuestro tiempo.)

Los franceses se apuntaron una victoria. Su experimento produjo el nuevo elemento «boro». Independientemente, Davy estaba intentando lo mismo y también aisló el boro, pero lo logró, exactamente, nueve días después que los franceses.

BERZELIUS SE UNE A LA CAZA

Mientras tanto, Berzelius también había comenzado a mostrarse activo en el juego de la caza de los elementos. Contaba con un gran número de casi aciertos. Davy le había vencido en el descubrimiento del bario y del calcio. Berzelius trabajó durante algún tiempo con Hisinger y estuvo muy cerca de compartir la fama por el descubrimiento del cerio, pero Hisinger lo consiguió por sí mismo más tarde. Uno de los alumnos de Berzelius, llamado Johan August Arfvedson, también encontró un elemento independientemente. El joven Arfvedson decidió que cierto mineral sueco debía contener un metal químicamente activo, similar a los metales alcalinos (sodio y potasio) que se habían encontrado en las plantas. Llamó a este elemento nuevo litio, del griego lithión, «piedra». Arfvedson no tuvo éxito en aislar el litio, pero Davy lo hizo más tarde.

En 1817, el mismo año en que Arfvedson encontró el litio, uno de los estudiantes de Vauquelin, un químico alemán que se llamaba Friedrich Stromeyer, separó un nuevo

metal similar al cinc de un mineral llamado «cadmia». Así que denomino cadmio, al nuevo elemento.

Por último, el propio Berzelius conseguiría ser un descubridor por sí mismo. Estaba predestinado a conseguirlo, más pronto o más tarde, puesto que tenía un dedo metido en cada pastel... En 1818, se encontraba analizando muestras de cierto ácido sulfúrico preparado en una ciudad minera sueca, y encontró una impureza que creyó que se trataba de un nuevo metal. Al principio, pensó que debería tratarse del telurio, pero cuando aisló el metal, demostró ser algo más: un nuevo elemento que se parecía al telurio. A causa de que el telurio había sido denominado así por la tierra, Berzelius llamó al nuevo elemento «selenio», de la palabra griega que designa a la Luna.

TABLA 6

ELEMENTOS DESCUBIERTOS EN LA ÉPOCA DE DAVY Y BERZELIUS

ELEMENTO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Potasio	1807	Davy
Sodio	1807	Davy
Magnesio	1808	Davy
Calcio	1808	Davy
Estroncio	1808	Davy
Bario	1808	Davy
Boro	1808	Gay-Lussac Thénard
Yodo	1811	Courtois
Litio	1817	Arfvedson
Cadmio	1817	Stromeyer
Selenio	1818	Berzelius
Silicio	1824	Berzelius
Bromo	1826	Balard
Aluminio	1827	Wöhler
Torio	1829	Berzelius
Vanadio	1830	Sefström

En 1824, Berzelius se dedicó a la sílice, una tierra en la lista de elementos de Lavoisier, que Davy no había conseguido aún romper. Tras adoptar el método de Gay-Lussac y Thénard, Berzelius calentó sílice con potasio. Y consiguió el éxito al aislar el elemento silicio.

Luego se dedicó a la última «tierra» de la lista de Lavoisier: la alúmina. Davy y Berzelius trataron ambos de aislarla por medios eléctricos, pero sin éxito. Sin embargo, en 1827, un discípulo de Berzelius, Friedrich Wöhler, consiguió extraer una pequeña cantidad de metal, bastante impuro, de este óxido. Naturalmente, este metal era el aluminio. No se conseguiría un método eléctrico para purificar el aluminio a una escala sustancial, hasta 1886, cuatro años después del fallecimiento de Wöhler.

Berzelius añadió aún un tercer elemento a su propia lista de descubrimientos. En 1829, en un mineral que le había enviado un ministro noruego, encontró un metal al que llamó «torio», del nombre del dios noruego Thor.

Un año después, un discípulo de Berzelius, Nils Gabriel Sefström, descubrió otro nuevo metal en una muestra de mena de hierro, y también lo denominó según una antigua deidad noruega. Eligió a una diosa, Vanadis, y llamó al elemento «vanadio».

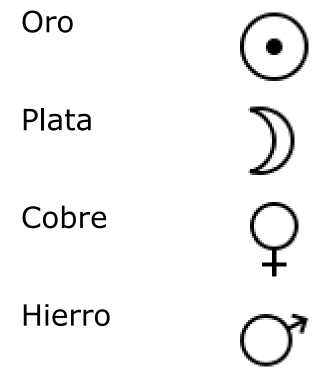
En la tabla 6 damos una relación de los elementos descubiertos en la primera cuarta parte del siglo dominado por Davy y Berzelius.

Capítulo 9
Símbolos y Pesos

Hacia 1830, aquella primitiva pregunta de Tales «¿De qué está hecho el Universo?», ya había recibido una asombrosa cosecha de respuestas. Buscando las piezas básicas del edificio del Universo, los químicos habían encontrado ya cincuenta y cuatro elementos diferentes... Y no hay que decir los muchos más que aún aguardaban su descubrimiento... La química se había convertido en una selva.

Con todos estos elementos, y el vasto número de compuestos que podían formarse con los mismos, los químicos debían de ingeniarse un sistema más sencillo de etiquetarlos, pues, de otro modo, se perderían en una gran maraña de nombres larguísima.

Los alquimistas habían inventado símbolos para sus elementos, pero esos, signos cabalísticos, tomados de la astrología, aún hacían a la química más misteriosa. Por ejemplo:



En el siglo XVIII, Étienne François Geoffroy añadió más símbolos ocultos para elementos y compuestos: una pequeña corona para el antimonio, un triángulo con el vértice hacia arriba para el azufre, una cruz con dos puntos para el vinagre, y todo de esta forma...

Este lenguaje carecía de sentido y era difícil de recordar. Cuando Dalton propuso su teoría de los átomos (que representó como unas pequeñas esferas), trató de simplificar las cosas al representar cada elemento con un círculo con una marca distintiva: el oxígeno era un círculo blanco; el carbón, un círculo negro; el

hidrógeno, un círculo con un punto; el nitrógeno un círculo atravesado por una línea vertical; otros elementos tenían una inicial en el círculo, como «s» para el azufre, «g» para el oro, etcétera.

Fue Berzelius quien, al final, trazó un sistema racional. ¿Por qué no simplificar el uso de la letra inicial del nombre de cada elemento en funciones de su símbolo? (Para soslayar las diferencias de los idiomas, por ejemplo, nitrógeno o ázoe era nitrogen en inglés, azote en francés y Stickstoff en alemán, los tomó de los nombres latinos como idioma universal. De todos modos, al ser el español un idioma neolatino es fácil rastrear la mayor parte de los nombres, pues poseen iniciales parecidas...

Así, el oxígeno se convirtió en O; el hidrógeno en H; el nitrógeno en N; el carbono en C, etcétera. Y cuando más de un elemento comenzaban por la misma letra inicial, se añadía una segunda letra para evitar la confusión. Así, Ca para el calcio, Cd para el cadmio, Cl para el cloro...

Esta forma abreviada mostraba de qué estaba formado un compuesto de una sola ojeada. CO_2 (bióxido de carbono) nos dice que la molécula tiene un átomo de carbono y dos de oxígeno. De un modo parecido, H_2O, NH_2, $CaSO_4$, y todas las demás expresiones parecidas son muy fáciles de leer y definen de una forma unívoca los compuestos.

El sistema lógico de Berzelius, como es natural, fue en seguida adoptado y ha quedado ya igual desde entonces.

En las tablas 7 y 8 damos la lista de los cincuenta y cuatro elementos conocidos en 1830, con sus símbolos. La razón de estas dos tablas es tan sólo para mostrar que una parte de los símbolos (en la tabla 8) que están tomados de los nombres en latín no son los mismos en español. Algunas diferencias se observan en nombres que en español han cambiado alguna letra de su palabra latina. Por ejemplo, Na, por sodio, procede de la voz latina natrium; Au, por oro, es la palabra latina aurum; Fe, por hierro, de la voz ferrum, etc.

PESANDO LOS ÁTOMOS

La química tiene aún otra gran deuda con Berzelius. Tras crear un lenguaje para los elementos, procedió a establecer sus pesos atómicos sobre unas bases sólidas.

Dalton trató de determinar los pesos atómicos, pero se equivocó en muchos de ellos debido a que trabajaba con poca habilidad. Berzelius se pasó más años analizando varios miles de compuestos y pesando exactamente cuánto contenía de cada uno. Como nivel comparativo de los pesos relativos de los elementos, al final se basó en el peso del hidrógeno igual a 1, y midiendo a todos los demás como múltiplos de esta unidad. Más tarde, los químicos se percataron de que habría conseguido unos valores más exactos si hubiese utilizado el oxígeno, con un peso atómico exacto de 16, como estándar. (Más recientemente, ha sido elegido el carbono 12, el isótopo de carbono con un peso atómico de 12, como el modelo más preciso disponible, y la tabla de los pesos atómicos ha sido calculada de nuevo sobre esta base.)

TABLA 7

SÍMBOLOS DE LOS ELEMENTOS

ELEMENTO	SÍMBOLO	ELEMENTO	SÍMBOLO
Aluminio	Al	Litio	Li
Arsénico	As	Magnesio	Mg
Azufre	S	Manganeso	Mn
Bario	Ba	Molibdeno	Mo
Berilio	Be	Niobio	Nb
Bismuto	Bi	Níquel	Ni
Boro	B	Nitrógeno	N
Bromo	Br	Osmio	Os
Cadmio	Cd	Oxígeno	O
Calcio	Ca	Paladio	Pd
Carbono	C	Platino	Pt
Cerio	Ce	Rodio	Rh
Cinc	Zn	Selenio	Se
Circonio	Zr	Silicio	Si
Cloro	Cl	Tantalio	Ta
Cobalto	Co	Telurio	Te
Cromo	Cr	Titanio	Ti
Estroncio	Sr	Torio	Th
Fósforo	P	Uranio	U
Hidrógeno	H	Vanadio	V
Iridio	Ir	Yodo	I
Itrio	Y		

TABLA 8

SÍMBOLOS DE NOMBRES LATINOS

NOMBRE ESPAÑOL	NOMBRE LATINO	SÍMBOLO
Antimonio	Stibium	Sb
Cobre	Cuprum	Cu
Estaño	Stannum	Sn
Hierro	Ferrum	Fe
Mercurio	Hydrargyrium	Hg
Oro	Aurum	Au
Plomo	Plumbum	Pb
Potasio	Kalium	K
Plata	Argentum	Ag
Sodio	Natrium	Na
Tungsteno	Wolframium	W

Hacia 1826, Berzelius había preparado una relación de pesos atómicos, que incluso los químicos del siglo xx la consideran muy buena. Sólo tres de sus pesos atómicos no son correctos... Los tres equivocados correspondían a la plata, el sodio y el potasio; sus valores para los mismos eran dos veces superiores a las correctas. De todos modos, sus mediciones constituyeron una indiscutible prueba de habilidad y una tarea muy dificultosa.

Para estar seguros, desde entonces los químicos han hecho gran número de correcciones y definiciones de los datos de Berzelius, desarrollando los métodos más delicados para estas mediciones. Para poner un ejemplo, digamos que Berzelius encontró el átomo de azufre dos veces más pesado que el átomo de oxígeno, lo cual daba al azufre un peso atómico de 32. Unos setenta años después, los químicos situaron este peso en 32,06. En 1925, colocaron en la medición otro decimal, es

decir, 32,064. En 1956, lo corrigieron a 30,066. Pero pueden observar, de todos modos, lo cercano que se encuentran estos cálculos de los de Berzelius.

En la tabla 9 damos una lista de los cincuenta y cuatro elementos conocidos en su tiempo, con sus pesos atómicos, sobre la base del oxígeno igual a 16,000. Estos pesos se aproximan mucho a los de Berzelius en casi todos los casos.

TABLA 9

PESOS ATÓMICOS

ELEMENTO	PESO ATÓMICO	ELEMENTO	PESO ATÓMICO
Aluminio	26,98	Magnesio	24,32
Antimonio	121,76	Manganeso	54,94
Arsénico	74,91	Mercurio	200,61
Azufre	32,066	Molibdeno	95,95
Bario	137,36	Níquel	58,71
Berilio	9,013	Niobio	92,91
Bismuto	209,00	Nitrógeno	14,008
Boro	10,82	Oro	197,0
Bromo	79,916	Osmio	190,2
Cadmio	112,41	Oxígeno	16,0000
Calcio	40,08	Paladio	106,4
Carbono	12,011	Plata	107,88
Cerio	140,13	Platino	195,09
Cinc	65,38	Potasio	39,100
Circonio	91,22	Rodio	102,91
Cloro	35,457	Selenio	78,96
Cromo	52,01	Silicio	28,09
Cobalto	58,94	Sodio	22,991
Cobre	63,54	Tantalio	180,95
Estaño	118,70	Telurio	127,61
Estroncio	87,63	Titanio	47,90
Fósforo	30,975	Torio	232,05
Hidrógeno	1,0080	Tungsteno	183,86
Hierro	55,85	Uranio	238,07
Iridio	192,2	Vanadio	50,95
Itrio	88,92	Yodo	126,91
Litio	6,940		

Una vez son conocidos los pesos atómicos, los pesos relativos de las moléculas individuales pueden ser calculados con facilidad. Por ejemplo, el «peso molecular» del carbonato de sodio, Na□CO□, es la suma de los dos átomos de sodio (22,991 más 22,991), un átomo de carbono (12,011) y tres átomos de oxígeno (16,0000 más 16,0000 más 16,0000), todo lo cual suma la cantidad de 105,993.

EL CONGRESO DE KARLSRUHE

Por extraño que parezca, la mayoría de los químicos de su época no creían mucho en la lista de Berzelius de los pesos atómicos. Los átomos eran pequeños, invisibles, intangibles: ¿cómo podía uno estar seguro de lo que pesaban? Los químicos preferían calcular en términos de sus mediciones directas de las sustancias que manejaban. Por ejemplo, averiguaron que el agua contenía ocho partes de oxígeno por una parte de hidrógeno en peso. Por tanto, afirmaban que el «equivalente en peso» del oxígeno era 8. Esto les parecía más significativo que decir que el peso atómico del oxígeno era 16.

No obstante, muchos químicos empezaron a confundir peso equivalente con peso atómico, y a menudo encasillaban el peso atómico del oxígeno como 8. Además, no eran tan cuidadosos en distinguir entre «peso atómico» y «peso molecular».

Como resultado de todo ello, se alzaban frecuentes desacuerdos de cómo escribir las fórmulas de las moléculas más complicadas, particularmente aquellas en que se hallaba implicado el carbono. Con un químico afirmando que una molécula tendría dos átomos de oxígeno con un peso de 8 cada uno, y otro que decía que debería tener un átomo de oxígeno con un peso de 16, pueden percatarse de que se desperdiciaba una horrorosa cantidad de energía en esas inútiles disputas.

Al fin, uno de los químicos más importantes de aquella época, Friedrich August Kekule, de Alemania, propuso: ¿Por qué no convocar una conferencia de los químicos más importantes de toda Europa y discutir el asunto?

De este modo, en 1860, se reunió el Primer Congreso Internacional de Química, en la ciudad dé Karlsruhe, en el pequeño reino de Badén, al otro lado del Rin y próximo a Francia. Empezó con mal pie. Los químicos hablaban y hablaban y no parecían llegar a ninguna parte. Luego, un químico italiano llamado Stanislao Cannizzaro, de repente, cambió todo el espíritu de la reunión.

Cannizzaro era un hombre valeroso muy acostumbrado a las controversias. Había tomado una parte muy activa en la revolución contra Nápoles, en su Sicilia natal, y tuvo que salir de allí a toda prisa cuando se perdió la Revolución. Trabajando y esperando su momento oportuno, en Francia y Egipto, regresó a Italia en 1860, cuando se estaba formando el nuevo reino de una Italia unida. (Cannizzaro llegó a ser más adelante vicepresidente del Senado italiano.) Ahora, en mitad de aquel desorden, aún tuvo tiempo para acudir al Congreso de Karlsruhe.

Enfrentándose a los químicos que disputaban, Cannizzaro electrizó a la asamblea con una ardiente defensa del punto de vista atómico en Química. Pongamos fin, solicitó, a la confusión entre átomos y moléculas, entre pesos equivalentes y pesos atómicos. Al concentrarse en los pesos atómicos, se podía aclarar sus fórmulas y poner orden en todo aquel caos.

Cannizzaro convenció a los químicos. Regresaron a sus laboratorios con nueva confianza y comenzaron a trabajar de una forma más sistemática y con provechosos resultados.

Mientras tanto, habían ido apareciendo nuevos elementos.

Uno de los ayudantes favoritos de Berzelius, Cari Gustav Mosander, había analizado una tierra rara llamada ceria (óxido de cerio). De una muestra del mineral, disolvió, con un ácido fuerte, un nuevo óxido. A sugerencia de Berzelius, Mosander lo llamó «lantana» (de una palabra griega que significaba «escondido»), porque se había ocultado en el mineral. Constituyó el óxido un nuevo elemento, el cual, naturalmente, fue denominado «lantano».

Dos años después, Mosander aisló otro óxido de su preparación. Este metal era tan parecido al lantano que lo llamó «didimio» (del griego didymos, «gemelos»). En la actualidad, el didimio no es un elemento sino una mezcla de dos elementos casi idénticos, unos auténticos gemelos... Sin embargo, esto no se descubrió hasta cuarenta años más tarde, mucho después de la muerte de Mosander.

Mosander se dedicó a la tierra rara «itria». Después de dos años de trabajo, mostró que la itria podía separarse en tres óxidos. Uno, que poseía las características propiedades de itria, era incoloro. Los otros dos formaban un óxido amarillo, al que llamó «erbia» y otro de color rosa al que bautizó como «terbia». Los metales

fueron, respectivamente, el «erbio» y el «terbio». Así, los tres elementos —itrio, erbio y terbio—, tiene todos nombres de la pequeña aldea de Ytterby.

Ya hemos mencionado, al final del capítulo 7, que las menas del platino albergaban cinco elementos.: platino, osmio, iridio, paladio y rodio. En 1844, se descubrió un sexto «metal de platino». Karl Karlovich Klaus, un huérfano estoniano de ascendencia alemana, y mancebo también de botica, consiguió al final desempeñar el oficio de boticario en las estepas del Volga, donde pasó muchos años entregado al estudio de las plantas y la vida animal. Luego se dedicó a la investigación mineralógica y comenzó a estudiar las menas de platino en los montes Urales. Empezó, deliberadamente, la caza de metales. Uno por uno, separó a cada uno de los cinco metales conocidos de platino, y al final encontró a un sexto, más raro que cualquiera de los otros cinco. Lo llamó «rutenio», según el antiguo nombre de Rusia.

En la tabla 10 exponemos la relación de los elementos descubiertos durante la década final de la vida de Berzelius.

TABLA 10

ELEMENTOS DESCUBIERTOS EN LOS ÚLTIMOS AÑOS DE BERZELIUS

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	AÑO DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Lantano	La	138,92	1839	Mosander
Erbio	Er	167,27	1843	Mosander
Terbio	Tb	158,93	1843	Mosander
Rutenio	Ru	101,1	1844	Klaus

En la época del Primer Congreso Internacional de Química, en Karlsruhe, el número de los elementos conocidos ascendía ya a cincuenta y ocho.

Capítulo 10
Pistas en el Espectro

Después del Congreso de Karlsruhe, los pesos atómicos se convirtieron en un gran factor en la investigación de los elementos, al igual que el trabajo de cada día de los químicos. Parecía como si el peso atómico hubiese arrojado luz en las semejanzas y diferencias entre los elementos, y pudiese conducir al descubrimiento de otros nuevos.

Por ejemplo, teníamos el cobalto y el níquel. El peso atómico del cobalto es 58,94 y el del níquel, 58,71. Los dos elementos eran muy parecidos entre sí. Tal vez esto significase que, cuanto más cercanos, fuesen dos elementos en peso atómico, más similitudes tendrían.

El problema con esta teoría radicaba en que no acababa de funcionar. Los pesos atómicos del cobre y el cinc eran muy próximos: 63,54 y 65,38, respectivamente. Sin embargo, los dos metales no se parecían en nada. Si se consideraba el azufre (peso atómico 32,066) y el cloro (35,457), a pesar de la proximidad de sus pesos atómicos, químicamente representaban polos opuestos: el azufre es un sólido amarillo y el cloro un gas verde, y ambos se comportan de forma muy diferente en las reacciones químicas.

Por otra parte, y para hacer las cosas aún más intrigantes, los químicos averiguaron que algunos elementos que diferían ampliamente en peso atómico, tenían propiedades muy similares. Por ejemplo, el sodio y el potasio eran muy semejantes, aunque el peso atómico del segundo fuese casi el doble del primero.

¿No estaría equivocada por completo toda la especulación sobre el peso atómico? No del todo... Ya en 1817, Johann Wolfgang Döbereiner, un químico alemán, se había percatado de algo interesante.

Döbereiner estaba intrigado por tres elementos: el calcio, el bario y el estroncio. Los tres eran parecidos de algún modo. ¿Y qué cabía decir de sus diferencias? Pues el calcio se funde a una temperatura de 851° C y el bario a 710° C, mientras que el punto de fusión del estroncio queda en medio: 800 grados centígrados.

Luego había que fijarse en su actividad química. El calcio es muy activo. Un trozo de calcio añadido al agua reacciona con el oxígeno y libera hidrógeno. El bario es

considerablemente más activo, pero su reacción con el agua es menos vigorosa. ¿Y qué decir del estroncio? Su actividad es intermedia.

Los tres elementos forman compuestos parecidos. Por ejemplo, el sulfato cálcico ($CaSO_4$), el sulfato bárico ($BaSO_4$) y el sulfato de estroncio ($SrSO_4$). Ahora bien, el sulfato cálcico es moderadamente soluble en agua, el sulfato bárico apenas es soluble, y —supongo que ya lo habrán imaginado— el sulfato de estroncio tiene una solubilidad intermedia.

Este estado intermedio del estroncio se muestra en otras centenares de formas.

Lo que más interesaba a Döbereiner era cómo se adecuaba todo esto con la situación de pesos atómicos. Según las mediciones de Berzelius, el peso atómico del calcio era 40, mientras el del bario era 137, y el del estroncio 88... Es decir, casi exactamente la cantidad intermedia entre los dos pesos atómicos...

En otras palabras, el estroncio, cuyo comportamiento parecía estar a mitad de camino entre el calcio y el bario, también se hallaba en una posición intermedia en lo referente al peso atómico.

Döbereiner abandonó este asunto durante algún tiempo. Era un hombre que practicaba numerosas actividades. Entre otras cosas, se hizo famoso como inventor de la «lámpara Döbereiner», que fue uno de los mecanismos conocidos para emplear un catalizador. Con este aparato proyectó un chorro de hidrógeno sobre un poco de platino en polvo; al incidir sobre el platino, el hidrógeno se inflamó. Berzelius dio el nombre de «catálisis» a este proceso, en el que una sustancia (como el platino) produce una reacción sin ser ella misma consumida.

Döbereiner también es conocido por otra ilustre asociación: llegó a ser amigo íntimo de Goethe y enseñó Química al gran poeta.

En 1829, Döbereiner volvió a su juego de números con tríos de elementos. Uno de los nuevos tríos que consideró fue el azufre, el selenio y el telurio. Aquí de nuevo había una tríada de elementos que poseían unas propiedades químicas muy similares y un miembro —el selenio— estaba a mitad de camino entre los otros dos en comportamiento y en peso atómico: el del azufre era de 32, el del telurio 128 y el del selenio 79. Döbereiner encontró un tercer caso de la misma especie. Éste se relacionaba con el cloro, el bromo y el yodo. El cloro es un gas ligeramente coloreado y muy activo. El yodo es un sólido bastante coloreado de oscuro y

considerablemente menos activo. ¿Y el bromo? Es un líquido medianamente oscuro con una mediana actividad. Y también es intermedio en todas las otras cosas. (En realidad, cuando se descubrió por primera vez, algunos químicos pensaban que era un compuesto de cloro y yodo.) Y, de acuerdo con los valores de Berzelius, el peso atómico del cloro era de 35 ½, el del yodo 127 y el del bromo se encontraba casi exactamente en la mitad, con sus 80.

Döbereiner quedó fascinado. Le costó sudores de muerte el informar al mundo científico de lo que había observado en esas «tríadas» de elementos. Pero estaba demasiado adelantado respecto de su tiempo... Los químicos de su época no vieron utilidad en todo aquello... Pensaron que el juego de Döbereiner era simplemente eso, jugar con números...

HUELLAS DACTILARES EN COLOR

Hacia la década de 1850, la persecución de los elementos tomó un giro gracias al descubrimiento de una nueva técnica.

Esto era volver al viejo descubrimiento de Newton de que la luz tenía un espectro de diferentes colores. Newton había separado aquellos colores, al hacer pasar la luz solar a través de un prisma de cristal. Más tarde, los químicos descubrieron que las diferentes sustancias emitían unos colores distintivos cuando se las calentaba. Por ejemplo, en 1758, el químico alemán Marggraff (el hombre que aisló por primera vez el cinc), se percató de que la sosa ardía con una llama amarilla y la potasa con una llama violeta. En 1834, un físico inglés, Henry Fox Talbot (que fue uno de los inventores de la fotografía), llevó un paso adelante esta especie de análisis del color. Ya se había averiguado que el litio y el estroncio ardían con una llama roja. ¿Sus colores eran exactamente el mismo, o había pequeñas diferencias entre ellos? Talbot pasó la luz de cada llama a través de un prisma y descubrió que los dos espectros eran muy diferentes.

Llegado el momento, un físico de Pennsylvania, llamado David Alter, tras estudiar la luz en numerosos gases y metales, realizó la atrevida sugerencia de que cada elemento tenía su propio espectro.

En este momento oportuno, dos físicos alemanes, Robert Wilhelm Bunsen y Gustav Robert Kirchhoff, se presentaron con un invento (en 1859) que era exactamente lo

que le habría encargado el norteamericano. Su invento fue el espectroscopio (una invención más importante que aquella otra que haría famoso a Bunsen: el mechero Bunsen). Bunsen y Kirchhoff habían ideado un instrumento simple, que hacía pasar la luz a través de un estrecho orificio y luego por un prisma. El prisma extendía los colores en una franja que abarcaba todo el espectro del arco iris. La luz blanca, que contenía todos los colores, formaba una banda continua. Pero cuando sólo ciertos colores estaban presentes en la luz, los mismos aparecían como unas líneas brillantes (imágenes de la abertura), en los lugares apropiados del espectro. Así, por ejemplo, la llama de sodio, mostraría unas líneas prominentes en la región del amarillo del espectro (además de, secundariamente, las líneas para los colores menos importantes de su llama).

Aquí, al fin, había un medio rápido y conveniente de identificar a un elemento, o incluso a un compuesto. Cada elemento, según averiguaron Bunsen y Kirchhoff, tenía su propio y característico modelo de líneas espectrales, tan distintivo como las huellas digitales... Sólo había que calentar una sustancia hasta hacerla brillar, mirar luego su línea espectral en el espectroscopio, y ya se podía decir, de un simple vistazo, qué elementos estaban presentes, aunque algunos sólo apareciesen en muy pequeñas proporciones.

Y lo que es más, se podían descubrir nuevos elementos cuando unas no familiares huellas digitales aparecían en el análisis espectral de un mineral o de cualquier muestra de materia. Ahora, los elementos desconocidos podían ser rastreados sistemáticamente, en vez de recurrir a la pura casualidad...

Bunsen y Kirchhoff encontraron rápidamente dos nuevos elementos. Al estudiar algunas muestras de minerales que contenían litio, descubrieron dos líneas extrañas, una azul y otra roja. La línea azul demostró pertenecer a un nuevo metal alcalino, al que llamaron «cesio» (de la palabra latina cœsius, que significa «azul»), y la línea roja pertenecía a un metal al que denominaron «rubidio» (del latín rubidus, rubio).

EL ESPECTROSCOPIO EN LA TIERRA Y EN EL CIELO

El espectroscopio fue adoptado en seguida por los demás químicos. El mismo año en que se descubrió el rubidio, William Crookes, de Inglaterra, encontró otro nuevo

elemento en algunas sales formadas en la fabricación del ácido sulfúrico. Estaba particularmente interesado en el elemento selenio, pero cuando calentó esas sales y estudió la luz por el espectroscopio, descubrió una nueva línea verde, que no pertenecía a las líneas del selenio. Esta línea verde reveló un nuevo elemento, al que Crookes denominó «talio», del vocablo griego thallós, «rama verde».

A continuación, un físico alemán ciego a los colores, llamado Ferdinand Reich, y que formaba equipo con un químico, Hieronymus Theodor Richter, añadió otro elemento a la lista, en 1863. Se encontraban estudiando un mineral de cinc con el espectroscopio. Richter, que no era ciego a los colores, observó una línea de color índigo, que no correspondía a ninguna línea conocida. Asignaron a este nuevo elemento el nombre de «indio».

Mientras tanto, el espectroscopio había sido adoptado también por los astrónomos para observar a las estrellas. Muchos años antes de que el instrumento fuese inventado, el físico alemán Josef von Fraunhofer había empleado un prisma para analizar la luz solar que pasaba a través de una abertura. Encontró centenares de líneas oscuras (que todavía siguen llamándose «líneas de Fraunhofer») en el espectro del sol. Las líneas oscuras constituyeron un misterio hasta la invención del espectroscopio, que hizo posible experimentos de laboratorio que las explicasen.

El espectroscopio mostró que los elementos en estado frío (es decir, que no brillasen) absorberían luz de la misma longitud de onda que las que emitían cuando brillaban. Por ejemplo, el hidrógeno caliente muestra líneas brillantes en cierta longitud de onda azul; el hidrógeno frío absorbería la luz que fuese de esa misma longitud de onda. De este modo, cuando el espectroscopio recibe luz que ha pasado a través de hidrógeno frío, las líneas oscuras aparecen en el espectro de la misma longitud de onda.

Dicho todo esto, ¿qué significaban las líneas de Fraunhofer en el espectro de la luz solar? Pues que unos gases fríos en la atmósfera solar absorbían parte de la luz que emitía el sol. Y si esto era así, entonces las líneas oscuras contendrían las huellas dactilares de los elementos de la atmósfera del sol. En otras palabras, el espectroscopio le haría posible al hombre averiguar qué elementos estaban presentes en la atmósfera de los, cuerpos celestes, no sólo del sol, sino también de otras estrellas e incluso de los planetas.

Los astrónomos rápidamente averiguaron que los elementos de los cuerpos espaciales eran los mismos que los de la Tierra. Aristóteles se había equivocado por completo: el universo celeste no estaba hecho de algún «éter» especial, o «quintaesencia», sino de la misma materia que nuestro planeta.

TABLA 11

ELEMENTOS DESCUBIERTOS CON EL NUEVO ESPECTROSCOPIO

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Cesio	Cs	132,91	1860	Bunsen Kirchhoff
Rubidio	Rb	85,48	1861	Bunsen Kirchhoff
Talio	Tl	204,39	1861	Crookes
Indio	In	114,82	1863	Reich Richter

De todos modos, un elemento desconocido en la Tierra apareció en el Sol. En 1868, los astrónomos observaban la atmósfera del Sol con un espectroscopio, durante un eclipse solar, y el francés Pierre Jules César Janssen observó la presencia de una nueva línea amarilla. Un astrónomo inglés, Norman Lockyer, sugirió que aquello representaba un nuevo elemento; lo llamó «helio» (del vocablo griego helios, que designaba al Sol). Los químicos no lo aceptaron en aquella época. El helio no se añadió, oficialmente, a la lista de los elementos hasta muchos años después, cuando se le encontró en la Tierra...

La tabla 11 facilita la relación de los cuatro elementos descubiertos con el espectroscopio poco después de la invención de este instrumento.

La lista de los elementos había aumentado ya a sesenta y dos. Era aún sólo una lista. Con la excepción de Döbereiner, nadie había visto ninguna clase de ritmo o

razón en esta colección de elementos. Ya era hora de que alguien los ordenase y tratara de distribuir o clasificar a los elementos en alguna clase de orden.

Capítulo 11
En Orden de Pesos Atómicos...

Existen varios medios lógicos en que se puedan relacionar los elementos: en el orden cronológico de su descubrimiento (ya lo hemos hecho así en la mayor parte de las tablas que he dado), o alfabéticamente, o en el orden de su peso atómico. Esta última disposición (véase tabla 12), por lo menos representa algún sentido físico. Pero resulta poco atrayente desde el punto de vista de aclarar algo respecto de las propiedades de los elementos.

En 1862, un geólogo francés llamado Alexandre Émile Béguyer de Chancourtois, se estaba divirtiendo escribiendo la lista de los elementos en una columna espiral. La cosa más interesante de esta divertida disposición fue que las tríadas de Döbereiner se dispusieron en línea en un orden relacionado. Por ejemplo, la tríada del calcio, del estroncio y del bario se encontraba en una línea vertical, con el estroncio inmediatamente debajo del calcio y el bario debajo del estroncio. Lo mismo resultaba cierto respecto de la tríada del cloro, del bromo y del yodo, y asimismo en la tríada del azufre, selenio y telurio.

Béguyer de Chancourtois llamó a su disposición «tornillo telúrico». Incluso lo imprimió, pero nadie se fijó en ello. En primer lugar, era un escritor muy pobre; en segundo lugar, empleó una terminología geológica y los químicos no le entendieron; y, en tercer lugar, la publicación pasó por alto incluir el diagrama en que se mostraba los elementos dispuestos en forma cilíndrica. Su publicación no consiguió dejar la menor huella en el mundo de la Química.

Pero una buena idea siempre salta de nuevo, más temprano o más tarde. En 1864, un químico inglés llamado John Alexander Reina Newlands, también se entretenía enrollando la lista de los elementos en columna. Se percató de que, dividiendo la lista en columnas de siete elementos cada uno (en el orden de pesos atómicos), conseguía una pauta definida de similitudes familiares. Sus tres primeras columnas las mostramos en la tabla 13.

TABLA 12

LOS ELEMENTOS DE 1863 EN ORDEN A SU PESO ATÓMICO

ELEMENTO	PESO ATÓMICO	ELEMENTO	PESO ATÓMICO
Hidrógeno	1,0080	Circonio	91,22
Litio	6,940	Niobio	92,91
Boro	10,82	Rutenio	101,1
Carbono	12,011	Rodio	102,91
Nitrógeno	14,008	Paladio	106,4
Oxígeno	16,0000	Plata	107,88
Sodio	22,991	Cadmio	112,41
Magnesio	24,32	Indio	114,82
Aluminio	26,98	Estaño	118,70
Silicio	28,09	Antimonio	121,76
Fósforo	30,975	Yodo	126,91
Azufre	32,066	Telurio	127,61
Cloro	35,457	Cesio	132,91
Potasio	39,100	Bario	137,36
Calcio	40,08	Lantanio	138,92
Titanio	47,90	Cerio	140,13
Vanadio	50,95	Terbio	158,93
Cromo	52,01	Erbio	167,27
Manganeso	54,94	Tantalio	180,95
Hierro	55,85	Tungsteno	183,86
Níquel	58,71	Osmio	190,2
Cobalto	58,94	Iridio	192,2
Cobre	63,54	Platino	195,09
Cinc	65,38	Oro	197,0
Arsénico	74,91	Mercurio	200,61
Selenio	78,96	Talio	204,39
Bromo	79,916	Plomo	207,21
Rubidio	85,48	Bismuto	209,00
Estroncio	87,63	Torio	232,05
Itrio	88,92	Uranio	238,07

TABLA 13

PARTE DE LA NUEVA DISPOSICIÓN DE NEWLAND DE LOS ELEMENTOS

PRIMERA COLUMNA	SEGUNDA COLUMNA	TERCERA COLUMNA
Hidrógeno	Flúor	Cloro
Litio	Sodio	Potasio
Berilio	Magnesio	Calcio
Boro	Aluminio	Cromo
Carbono	Silicio	Titanio
Nitrógeno	Fósforo	Manganeso
Oxígeno	Azufre	Hierro

(Newlands incluía el flúor porque su existencia ya era sospechada, aunque no figurase aún en la lista oficial. Debería haber colocado el vanadio en la tercera columna —después del titanio—, pero tenía un peso atómico erróneo para ese elemento y, por tanto, lo situó mucho más abajo en la relación.)

LA LEY DE LAS OCTAVAS

Lancemos de nuevo una ojeada a la primera columna de Newlands y veamos qué podemos hacer con ella.

En primer lugar aparece el hidrógeno, un gas bastante activo. A continuación, el litio, un sólido activo. En tercer lugar, el berilio, un sólido menos activo; luego el boro, un sólido aún menos activo; a continuación el carbono, un sólido aún mucho menos activo. Después de éste, el nitrógeno, un gas inactivo; finalmente, el oxígeno, un gas activo.

Hasta aquí, esto no significa mucho. Pero probemos con la segunda columna.

En primer lugar tenemos al flúor, un gas activo; luego el sodio, un sólido activo; el magnesio, un sólido menos activo; el aluminio, un sólido aún menos activo y, finalmente, el silicio, que es un sólido muchísimo menos activo.

Ahora ya hemos encontrado algo. La segunda columna repite la pauta de la primera. Además, los parecidos, no son sólo superficiales. El flúor presenta varias

similitudes químicas con el hidrógeno, y el sodio es muy parecido también al litio. Del mismo modo, el magnesio, el aluminio y el silicio son, químicamente, semejantes al berilio, al boro y al carbono, respectivamente.

Los últimos dos elementos de la segunda columna, el fósforo y el azufre, resultan un poco decepcionantes. No son gases, como sus contrapartidas, el nitrógeno y el oxígeno, en la primera columna. Y, sin embargo, existen semejanzas químicas. El fósforo combina con otros elementos de una forma parecida al nitrógeno, y lo mismo ocurre con el azufre y el oxígeno.

¿Y qué cabe decir de la tercera columna? En primer lugar tenemos al cloro, un gas activo muy parecido al flúor. El potasio, el segundo en la columna, es un sólido activo y un primo químico del sodio y del litio, número 2 en la primera y en la segunda columnas, respectivamente. El calcio, el número 3 en la tercera columna, se parece al berilio y al magnesio de las primeras dos columnas. Y todo de una forma semejante.

Newlands estaba seguro de que había conseguido algo. Su tabla explicaba maravillosamente las tríadas de Döbereiner. El cloro encabezaba la tercera columna; el bromo, la quinta, y el yodo la séptima columna. A esta tríada, ahora Newlands podía añadir el hidrógeno y el flúor, que encabezaban la primera y la segunda columnas y que presentaban similitudes químicas con el cloro, el bromo y el yodo.

Una vez más, la tríada de Döbereiner del calcio, el estroncio y el bario se encontraban todos en el tercer lugar de sus respectivas columnas, y podía añadírsele el berilio y el magnesio. Finalmente, el azufre, el selenio y el telurio, la tercera tríada, estaban todos al final de las columnas.

Döbereiner había seguido la pista correcta, pero no sólo había llegado suficientemente lejos. La tabla de Newland no revelaba ahora tríadas sino quintetos, e incluso familias mayores, de elementos similares. Todo cuanto había que hacer era encontrar familias que pudiesen leerse horizontalmente a través de las columnas.

Newlands recordó en aquel momento las octavas de la escala musical. Al igual que la música tenía sus octavas, así su tabla de los elementos tenía sus intervalos de octavas, con siete elementos en cada grupo (que correspondían a las siete notas,

do, re, mi, ja, sol, la, si). Newlands denominó a su descubrimiento «la ley de las octavas».

Por desgracia, la tabla de Newlands tenía serios defectos. Algunos de los elementos, obviamente, no encajaban en los lugares que les había asignado. Por ejemplo, el hierro, el último elemento de la tercera columna, era por completo diferente, en cualquier forma, al oxígeno y al azufre, los miembros que ocupaban el último lugar en las primera y segunda columnas; ni tampoco formaban la misma clase de compuestos. Dediquémonos ahora a considerar los elementos del principio de las ocho columnas de Newlands.

Hidrógeno, flúor, cloro, bromo y yodo, ciertamente, pueden todos incluirse en la misma familia. Pero el cobalto, el níquel, el paladio, el platino y el iridio no se corresponden con éstos Apenas cabe imaginar unos elementos más distintos que el flúor y el iridio. El flúor es el elemento más activo de toda la lista y el iridio, el menos activo. El flúor es un gas y el iridio, un metal...

Además, para mantener el ritmo de las similitudes en sus octavas, Newlands tuvo que doblar los elementos en algunas posiciones; es decir, el cobalto con el níquel y el platino con el iridio. También debía situar algunos elementos en un falso orden respecto del peso atómico. Por ejemplo, colocó al cromo por delante del titanio, aunque sabía que su peso atómico era superior, porque el cromo se parecía más al aluminio que al silicio (véase tabla 13).

primera columna	hidrógeno
segunda columna	flúor
tercera columna	cloro
cuarta columna	cobalto y níquel
quinta columna	bromo
sexta columna	paladio
séptima columna	yodo
octava columna	platino e iridio

La mayoría de los químicos ridiculizaron la tabla de Newlands, y las publicaciones científicas se negaron a publicar su artículo en que describía la ley de las octavas.

El hecho es que Newlands había llegado a una idea correcta, pero había cometido un simple error que convertía a su tabla en desesperanzadamente inútil. El defecto radicaba en su «ley de las octavas»; se había equivocado al contar en sus columnas por grupos de siete.

ALARGANDO LOS PERÍODOS

En 1870, seis años después de la brillante aunque abortada inspiración de Newlands, un químico alemán llamado Julius Lothar Meyer introdujo también la nariz en este problema. Pero Meyer se aproximó de forma opuesta al intentar disponer los elementos: en vez de tratar de colocarlos en una disposición rigurosa, como Béguyer de Chancourtois y Newlands habían hecho, permitió que fuesen las propiedades de los elementos las que determinasen su posición.

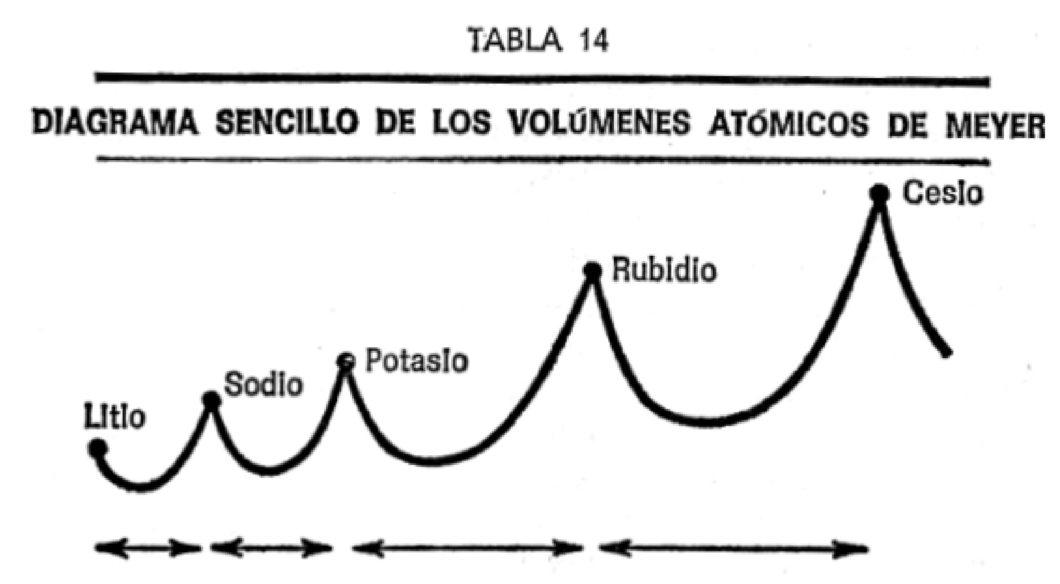
Meyer se concentró en una propiedad en particular: el peso. Se preguntó acerca del extraño hecho de que los pesos específicos de los elementos (el peso de un volumen dado de la sustancia cuando se le asignaba una escala) no eran consistentes con sus pesos atómicos relativos. Por ejemplo, tomemos el cesio y el bario. En volumen, el bario es casi dos veces más pesado que el cesio: el peso específico del bario (su peso en comparación con el volumen igual de agua) es de 3,78, mientras que el del cesio es sólo de 1,903. Sin embargo, ambos tienen un peso atómico muy próximo: 132,91 para el cesio y 137,36 para el bario.

Esto sólo podía significar una cosa: en sus concentraciones en volumen, los átomos del bario debían de estar unidos dos veces más próximamente que los átomos de cesio. Para expresarlo de otra forma: el «volumen atómico» del bario era sólo la mitad del cesio.

Meyer siguió con toda la lista de elementos, agrupando volumen atómico contra peso atómico y consiguiendo una gráfica que tomó la forma de una serie de ondas.

Para mostrar el resultado tan sencillo como sea posible, hemos dibujado una forma simplificada de esta gráfica, dejando fuera el hidrógeno y comenzando con el litio, el segundo elemento más ligero entonces conocido (véase tabla 14). El litio tiene un cierto volumen atómico. Meyer descubrió que los volúmenes atómicos de los elementos que siguen a éste, van descendiendo al principio (por ejemplo, para el berilio y el boro) y luego comienzan a aumentar (como en el carbono, el nitrógeno,

el oxígeno, el flúor y el sodio, que tienen, sucesivamente, mayores volúmenes atómicos). El sodio alcanza un ápice (más alto que el litio); después de eso, los volúmenes atómicos comienzan a descender de nuevo y luego se elevan hasta que alcanzan el ápice superior del potasio. Y así continúa con toda la serie de elementos, con los volúmenes atómicos aumentando y disminuyendo como en una serie de ondas.



Puede observarse ahora que los puestos máximos del diagrama parcial que presentamos corresponden al litio, al sodio, al potasio, al rubidio y al cesio. Todos ellos son metales alcalinos. Forman una auténtica y consistente pauta de elementos muy estrechamente emparentados. Y lo mismo cabe decir de la serie de elementos en la parte inferior de las curvas y los que se encuentran en otras posiciones de las mismas. En otras palabras, cuando Meyer clasificó los elementos, de acuerdo con el volumen atómico, y en relación con el peso atómico, fue uniendo familias.

El diagrama nos muestra un hecho significativo que nos indica dónde se equivocó Newlands. Las ondas se van haciendo mayores a medida que proseguimos con la lista de los elementos (o hacia «arriba» de la lista, considerando su creciente volumen atómico). Las primeras dos ondas, (del litio al sodio y del sodio al potasio) son casi de la misma longitud; las dos siguientes son ya más de dos veces más largas. Si Newlands hubiese hecho las siguientes columnas dos veces más largas que las dos primeras (combinando las columnas 3 y 4, 5 y 6 y 7 y 8), hubiera resuelto una de sus dificultades. Las cinco columnas habrían estado encabezadas

por el hidrógeno, el flúor, el cloro, el bromo y el yodo, todos ellos productos químicos emparentados. Cobalto, níquel, paladio, platino e iridio no hubieran aparecido en escena para estropear las cosas.

Meyer, como ya hemos indicado, publicó su gráfica en 1870. La historia debería haber hecho de él un hombre famoso. Pero llegó exactamente un año tarde. En 1869, un químico ruso había publicado una tabla que se convertiría en la biblia más duradera de los elementos.

Capítulo 12
La Tabla Periódica

Esta gran contribución a la Química llegada de Rusia, era de lo más desconcertante en sí misma. En los siglos xviii y xix, la Química había sido casi un monopolio de los países occidentales de Europa, en particular de Alemania, Suecia, Francia e Inglaterra. Rusia se encontraba tan lejos de la Ciencia como de las demás otras formas del conocimiento. Sus habitantes eran dejados, deliberadamente, en el analfabetismo por los despóticos zares rusos, que temían que la educación de los campesinos les condujese a la revolución.

Incluso así, en el siglo xviii Rusia había producido uno de los mayores químicos de todos los tiempos: Mijail Vasilievich Lomonósov (1711-1765). Este hijo de un pobre pescador de aldea del extremo norte, había conseguido acudir a Moscú para recibir educación. Se mostró tan prometedor en la escuela, que lo enviaron a Alemania para que cursara estudios en Química.

Lomonósov se distinguió en numerosos campos; escribió alguna de las mejores poesías en idioma ruso; reformó la lengua al simplificar su gramática y se convirtió en el Lavoisier de Rusia. Incluso hoy día continúa siendo una de las figuras más veneradas de la historia rusa. Entre otros honores, el nombre de Lomonósov ha sido concedido al pueblo en donde nació y también a uno de los cráteres de la cara oculta de la Luna, la cual fotografió un sputnik soviético, por primera vez, en 1959.

Pero, en su propio tiempo, Lomonósov fue poco conocido fuera de Rusia. Los científicos de los demás países no leían los informes rusos; incluso la mayoría de ellos desconocían el idioma. (Aún siguen haciéndolo hoy, aunque a muchos de ellos les gustaría saberlo.) Si los químicos del siglo xviii hubieran leído los escritos de Lomonósov, se habrían enterado de que había resuelto el problema de la química de la combustión (al llevar a cabo experimentos parecidos a los de Lavoisier), veinte años antes que el propio Lavoisier...

Después que Lavoisier publicase su teoría de la combustión (independientemente de Lomonósov), fue otro químico ruso, Vasili Vladimirovich Petrov, el que llevó a cabo unos experimentos concluyentes que lo probaron. En 1797, demostró que, en el vacío (es decir, sin oxígeno), el fósforo no ardía y los metales no dejaban residuos.

Ésta era una concluyente desaprobación de la teoría del flogisto y una demostración de la importancia del oxígeno. Pero los químicos occidentales tampoco se enteraron del trabajo de Petrov.

No obstante, el ruso que nos interesa ahora no son ni Lomonósov ni Petrov, sino un tal Dimitri Ivanovich Mendeleiev.

Mendeleiev había nacido en Siberia, en la ciudad de Tobolsk. Su madre se supone que pertenecía al pueblo mongol. Dmitri fue el menor de sus 14 ó 17 hijos (los registros no han aclarado el número exacto). Su padre era el director de la escuela superior del pueblo, pero se quedó ciego cuando Dmitri era muy joven. Para mantener a una familia tan numerosa, la madre de Dmitri instaló una fábrica de vidrio.

Cuando Dmitri tenía dieciséis años y terminó los estudios primarios, su padre murió y la fábrica de su madre se incendió. Aquella increíblemente enérgica y arrojada mujer, decidió que su hijo más joven y brillante debería recibir una educación superior. Mandó a Dmitri a Moscú, a miles de kilómetros de distancia. Pero en esto la madre fue desairada, puesto que la Universidad no admitió a Dmitri. Rechinando los dientes, la mujer se dirigió a San Petersburgo. Allí, un amigo de su difunto marido, consiguió que el joven Mendeleiev ingresara en la Universidad. Una vez cumplida su misión, la señora Mendeleiev murió poco después...

Dmitri Mendeleiev sentía inclinación hacia la Ciencia, a la que había sido atraído por su primer maestro, un exiliado político en Siberia. Acabó la carrera universitaria el primero de su clase. Luego viajó a Francia y Alemania para conseguir la experiencia que le era imposible alcanzar en Rusia.

En Alemania, trabajó con Bunsen, que acababa de inventar el espectroscopio. Mendeleiev también asistió al Congreso de Karlsruhe, y debió de quedar profundamente influido por aquel gran discurso de Cannizzaro acerca de los pesos atómicos.

El joven siberiano regresó a San Petersburgo y, a la edad de treinta y dos años, se convirtió en un auténtico profesor de Química.

Pronto se convirtió en el más interesante conferenciante de Rusia, y muy poco después, en uno de los mejores de Europa. También escribió un tratado de Química,

con el título de Los principios de la Química, el cual, probablemente, fue el mejor que se había escrito jamás en ruso.

VALENCIA Y LA TABLA

A finales, de los años 1860, Mendeleiev, como la mayoría de los químicos anteriores a él, se había enfrentado al problema de encontrar cierta clase de orden en la lista de los elementos. En Alemania, Meyer estaba trabajando en aquel problema desde el punto de vista de los volúmenes atómicos. Mendeleiev, que no estaba enterado de la labor de Meyer, enfocó el asunto desde un ángulo diferente. Su punto de partida fue el de las «valencias» de los elementos.

Desde hacía muchos años, era ya conocido que cada elemento tenía cierto «poder de combinación». El átomo de hidrógeno, por ejemplo, sólo podía hacerse cargo de otro átomo a la vez: nunca se combinaba con dos átomos de oxígeno, digamos, para formar HO_2. Por otra parte, el oxígeno, podía combinarse con dos, pero sólo dos, de otros átomos (por ejemplo, H_2O). Podríamos decir que el átomo de hidrógeno es monógamo y el átomo de oxígeno, bígamo...

Así, pues, el hidrógeno tenía un «poder de combinación» de uno. Lo mismo le ocurre al sodio, al flúor, al bromo, al potasio, al yodo y a otros pocos elementos más. El oxígeno y otro cierto número de elementos tienen un poder de enlace de dos. El nitrógeno y otros más un poder de combinación de tres (por ejemplo, NH_4). Y así por este estilo.

En 1852, un químico inglés llamado Edward Frankland acuñó el término «valencia» (del latín valens, participio de valere, valer) para configurar esta capacidad de combinación. Cada elemento tenía asignada una valencia, según su comportamiento químico.

Ahora, Mendeleiev se concentró en las valencias de los elementos. ¿Mostraban algún tipo de pauta? Hizo una lista de los elementos en orden de su peso molecular y escribió la valencia al lado de cada elemento. La tabla 15 nos muestra parte de esa relación.

Como puede verse, el valor de la valencia sube y baja. Empezando con 1, aumenta hasta 4 y luego desciende hasta 1, se eleva a continuación hasta 4 y luego desciende a 1 otra vez. A medida que aumenta la lista, las cosas no son tan

sencillas, pero la valencia continúa ascendiendo y descendiendo en ondas. No obstante, las ondas se hacen más alargadas (lo mismo que Meyer había descubierto en su gráfica de los volúmenes atómicos).

Sobre la base de estos ciclos, o «períodos», revelados por las valencias, Mendeleiev compuso una «tabla periódica» de los elementos. Esta vez, toda Europa tomó nota de la labor de un ruso. La publicación de Mendeleiev, en 1869, fue en seguida traducida al alemán y editada por los químicos de todas partes.

Mendeleiev siguió trabajando con su tabla y mejorándola. Después que se publicara la gráfica de Meyer, en 1870, Mendeleiev descubrió que aclaraba algunos puntos que la valencia había dejado confusos. Cuando Mendeleiev terminó su tabla, ésta presentaba casi el mismo aspecto que la que los químicos emplean todavía en la actualidad.

TABLA 15

VALENCIAS DE ELEMENTOS EN ORDEN DE SU PESO ATÓMICO

ELEMENTO	VALENCIA
Hidrógeno	1
Litio	1
Berilio	2
Boro	3
Carbono	4
Nitrógeno	3
Oxígeno	2
Flúor	1
Sodio	1
Magnesio	2
Aluminio	3
Silicio	4
Fósforo	3
Azufre	2
Cloro	1
Potasio	1
Calcio	2

En la tabla 16 presentamos los elementos entonces conocidos en una disposición cercana a la que al final alcanzó Mendeleiev. Hemos efectuado algunos cambios para ponerla más de acuerdo con nuestras actuales ideas sobre este tema, y, por tanto, se han incluido los valores modernos de los pesos atómicos.

Esta tabla tiene siete columnas, usualmente llamadas «primer período», «segundo período», etc. En el primer período sólo existe un elemento: el hidrógeno. El segundo y tercer períodos tienen siete elementos cada uno, lo mismo que en la tabla de Newlands. Los períodos cuarto, quinto y sexto, sin embargo, son considerablemente más largos. A fin de alinear semejantes elementos horizontalmente, debía dejarse un intervalo a la izquierda de la sección de en medio

de los períodos más cortos. Por acuerdo, las hileras se etiquetan con números romanos, de acuerdo con un sistema que depende de la valencia.

Ante todo, debemos observar que las tríadas de Döbereiner ya ocupaban bien su sitio. Cloro, bromo y yodo se encuentran ahora en la misma hilera; lo mismo sucede con el azufre, el selenio y el telurio, y también con el calcio estroncio y el bario.

Y lo que es más, cualquier químico reconocerá que todos los elementos en una hilera pueden ser considerados como pertenecientes a la misma familia. Por ejemplo, litio, sodio, potasio, rubidio y cesio son ya, de manera definitiva, similares químicamente; cobre, plata y oro son metales con muchas propiedades en común, lo mismo cabe decir del carbón, el silicio, el estaño y el plomo que comparten similitudes químicas.

En la hilera VIII existe una serie de tres elementos llamados «tríadas» (aunque no son las tríadas de Döbereiner). Los miembros de cada tríada son similares, y las triadas, a su vez, se parecen unas a otras; asimismo, las dos tríadas rutenio-rodio-paladio y osmio-iridio-platino son denominadas todas ellas metales del platino.

No sólo se hallan relacionados los elementos de una hilera, sino que existen también semejanzas entre las hileras, tal como indican las hileras Ia e Ib, IIa y IIIb, etc. El hidrógeno es un ejemplo, particularmente dramático, de relación entre hileras: puede colocarse en la hilera VIIb, lo mismo que la Ia, en lo que se refiere a la similitud con los otros miembros de la hilera.

Por primera vez, la tabla de Mendeleiev también proporcionaba sentido a toda la multitud de elementos. Los organizaba en familias muy definidas. Y no se trataba de una representación poco sistemática de coincidencias, como lo habían sido las tríadas de Döbereiner; ni tampoco una mezcla de unas malas coincidencias junto a otras buenas, como había ocurrido en la tabla de Newlands. Mendeleiev presentaba a todas las familias en una disposición tan lógica que resultaba imposible considerarlas simples coincidencias.

El mundo de la química no pudo dejar de mostrarse impresionado. Sin embargo, los químicos no podían manifestarse dispuestos a aceptar la tabla sólo por su apariencia externa. Era demasiado adecuada..., demasiado buena para ser cierta... Querían pruebas...

Pero lo que acabó de poner un broche de oro al notable logro de Mendeleiev, y a su fama, fue la asombrosa manera en que se encontró esta prueba.

TABLA 16

LA TABLA PERIODICA COMO SE MOSTRABA EN 1869

	Primer período	Segundo período	Tercer período	Cuarto período	Quinto período	Sexto período	Séptimo período
hilera I a	Hidrógeno (1,0080)	Litio (6,940)	Sodio (22,991)	Potasio (39,100)	Rubidio (85,48)	Cesio (132,91)	
hilera II a		Berilio (9,013)	Magnesio (24,32)	Calcio (40,08)	Estroncio (87,63)	Bario (137,36)	
hilera III a					Itrio (88,92)	Lantano (138,92)	
hilera IV a				Titanio (47,90)	Circonio (91,22)		Torio (232,05)
hilera V a				Vanadio (50,95)	Niobio (92,91)	Tantalio (180,95)	
hilera VI a				Cromo (52,01)	Molibdeno (95,95)	Tungsteno (183,86)	Uranio (238,07)
hilera VII a				Manganeso (54,94)			
hilera VIII a				Hierro (55,85) Cobalto (58,94) Níquel (58,71)	Rutenio (101,1) Rodio (102,91) Paladio (106,4)	Osmio (190,2) Iridio (192,2) Platino (195,09)	
hilera I b				Cobre (63,54)	Plata (107,88)	Oro (197,0)	
hilera II b				Cinc (65,38)	Cadmio (112,41)	Mercurio (200,61)	
hilera III b		Boro (10,82)	Aluminio (26,98)		Indio (114,82)	Talio (204,39)	
hilera IV b		Carbono (12,011)	Silicio (28,09)		Estaño (118,70)	Plomo (207,21)	
hilera V b		Nitrógeno (14,008)	Fósforo (30,975)	Arsénico (74,91)	Antimonio (121,76)	Bismuto (209,00)	
hilera VI b		Oxígeno (16,0000)	Azufre (32,066)	Selenio (78,96)	Telurio (127,61)		
hilera VII b		Flúor (19,00)	Cloro (35,457)	Bromo (79,916)	Yodo (126,91)		

LOS HUECOS EN LA TABLA

Mendéleiev tenía tanta confianza en la validez de su tabla periódica, que no titubeó en contradecir las ideas establecidas acerca de los elementos individuales y a realizar unas predicciones muy arriesgadas[2].

Al igual que Newlands, colocó al telurio por delante del yodo en su tabla, a pesar de su más elevado peso atómico, porque ese cambio situaba a los elementos en las

[2] Si se observa la tabla 16, podrá comprobarse que el cobalto y el níquel están también en un orden erróneo. No obstante, esos elementos son tan similares en comportamiento y en peso atómico que constituye casi algo como jugar a cara y cruz, cuál poner primero y cuál en segundo lugar. La suposición de Mendéleiev de que el cobalto debía ser el primero y el níquel el segundo demostraría ser acertada.

hileras apropiadas con sus primos químicos. Pero Mendéleiev no hizo juegos malabares de la misma forma con todos los elementos, tal como había realizado Newlands, y llegado el momento se demostraría que había tenido razón al llevar a cabo esa excepción.

Mendéleiev realizó pronto otros cambios que aún conmocionaron más a los químicos. El berilio se suponía que poseía un peso atómico de, aproximadamente, 14. Imposible, respondió Mendéleiev; no había hueco para un elemento de aquel peso en su tabla. Colocó al berilio en la hilera IIa junto al magnesio, al que se parece. Esto significaba que el berilio debía quedar entre el litio y el boro en peso atómico; es decir, su peso atómico debería ser de, aproximadamente, 9. De manera similar, afirmó que los químicos estaban equivocados, en sus pesos atómicos para el indio y el uranio también, y los pesos que dio para esos dos elementos se demostró más tarde que eran correctos.

Pero el paso precario dado por Mendéleiev pareció ser su afirmación acerca de algunos elementos que faltaban. Para que su tabla periódica funcionase, tuvo que dejar en ella varios huecos.

Por ejemplo, existía un hueco entre el cinc (peso atómico: 65,38) y el arsénico (peso atómico: 74,91). El cinc pertenecía a la hilera IIb porque era muy parecido al cadmio, y el arsénico debería encontrarse en la hilera Vb porque era parecido al antimonio (véase tabla 15). ¿Pero qué pasaba con los lugares de las hileras IIIb e IVb que quedaban vacíos? No se conocían elementos con pesos atómicos entre los del cinc y el arsénico.

Naturalmente, contestaba Mendéleiev. Lo que había que hacer era buscarlos... Y Mendéleiev insistía: Aquí existen dos elementos que se han pasado por alto, de los cuales no existe duda alguna de que los hay en la Tierra y lo que debe hacerse es encontrarlos...

Procedió a describir a aquellos elementos que habían hecho novillos. Uno, afirmó, debe de tener propiedades intermedias entre las del aluminio y las del indio, puesto que debía estar en medio de ellos en la hilera IIIb. Predijo que este elemento, al que llamó «ekaaluminio», debería tener un peso atómico de cerca de 68, un peso específico de, aproximadamente, 5,9 y un punto bajo de fusión. No resultaría afectado por el aire y reaccionaría con lentitud ante los ácidos. Formaría un

compuesto de átomos de óxido de ekaaluminio y tres átomos de oxígeno en la molécula. Mendéleiev continuó describiendo el comportamiento del óxido y de algunos otros compuestos del ekaaluminio.

El segundo elemento desconocido, predijo, tendría unas propiedades parecidas a las intermedias de las del silicio y el estaño (en la hilera IVb). A éste le denominó «ekasilicio». Su peso atómico debería ser 72 y su gravedad específica de 5,5. Se combinaría con dos átomos de oxígeno para formar un bióxido y cuatro átomos de cloro para formar un tetracloruro. El tetracloruro, prosiguió, herviría a una temperatura por debajo de los 100° C.

La tabla de Mendéleiev poseía una tercera vacante en el cuarto período, éste próximo al itrio en la hilera IIIa (véase la tabla 16). Mendéleiev estaba seguro de que un elemento se había pasado por alto allí también, y que sus propiedades deberían ser parecidas a las del itrio y el lantano. Debería presentar semejanza con los elementos de la hilera IIIb, a causa de que esta familia se hallaba relacionada con la IIIa. Los elementos de la hilera IIIb, del segundo y tercer períodos, son el boro y el aluminio. Mendéleiev ya había denominado a uno de estos elementos perdidos como ekaaluminio, por lo que llamó al tercero «ekaboro».

El ekaboro, predijo, tendría un peso atómico de 44 y formaría un óxido similar al óxido de aluminio. Sus compuestos serían incoloros y tendría otras determinadas propiedades específicas.

Un más específico, y arriesgado, desafío difícilmente podía haberse llegado a concebir de este modo... Si los mencionados elementos se encontraban, Mendéleiev se convertiría en un héroe y su tabla periódica quedaría verificada más allá de toda duda... Pero si no existían, Mendéleiev se convertiría en uno de las más ridículas pitonisas, con su bola de cristal de toda la historia de la Química...

Capítulo 13
Los Elementos que Faltaban

Al principio, los químicos se negaron a tomar en serio las predicciones de Mendéleiev. Ya se habían cometido demasiadas tonterías en nombre de la Química, pero nadie había intentado aún conjurar los elementos en alas de la pura imaginación. La gente había deducido los elementos de la muerte de ratones, por los colores de los minerales, por las líneas de un espectro. Pero Mendéleiev no tenía nada: sólo una tabla que había redactado y que daba la casualidad que aparecían en ella espacios en blanco. Sin embargo, presumía poder describir, con los detalles más nimios, unos elementos que no habían dado hasta entonces ninguna prueba tangible de su existencia.

Mendéleiev no prestó atención a los que se burlaban de él y se limitó a aguardar los acontecimientos. Y sucedió que no tuvo que esperar demasiado...

Un joven químico francés llamado Paul Émile Lecoq de Boisbaudran, que trabajaba en un pequeño laboratorio de su propiedad, quedó tan fascinado con el espectroscopio que, año tras año, no hizo otra cosa que estudiar detenidamente minerales con su instrumento. Un día, en 1874, detectó algunas raras líneas espectrales en un mineral que había recibido de unas minas de cinc de los. Pirineos. ¿Un nuevo elemento? Muy excitado, corrió a París para mostrar a los químicos importantes lo que había encontrado. Luego regresó a seguir trabajando en el aislamiento del elemento.

De centenares de kilos de mineral, al final consiguió unos montoncitos de un raro metal. Fundía a la baja temperatura de 30° C: incluso se fundía lentamente con el calor de la mano de una persona. Lecoq de Boisbaudran llamó al elemento «galio», del antiguo nombre latino de Francia. (Algunos creen que lo denominó así también por él mismo, dado que el apellido Lecoq significa «gallo», y la palabra latina correspondiente es gallus).

El químico francés se sintió regocijado con su descubrimiento, pero ni la mitad de excitado que Mendéleiev. Tan pronto como el ruso leyó la descripción del nuevo elemento, supo que era su ekaaluminio. Había predicho que el elemento fundiría a un punto bajo. Había estimado su peso atómico en unos 68 y el galio tenía 69,72.

También había pronosticado que su peso específico sería de 5,9 y el galio tenía 5,94. Su comportamiento químico seguía sus predicciones. Punto por punto, el galio se adecuaba por completo al ekaaluminio.

Aquella notable adecuación causó sensación. Los químicos tuvieron que admitir que el galio era el ekaaluminio de Mendéleiev de forma absoluta. Tal como ahora aparecía, su tabla periódica no era sólo unos ingeniosos garabatos en un papel. Podía ser incluso una clave para la interpretación sistemática de los elementos y hasta de la Química en sí...

Constituyó tal vez el momento más excitante en toda la ya larga historia de la búsqueda de los elementos. Al fin, alguien había averiguado lo suficiente sobre los elementos, como para predecir la existencia de uno que nadie había sospechado nunca.

Cuatro años después, se cumplió la segunda profecía de Mendéleiev. Lars Fredrick Nilson, un químico sueco, estaba estudiando un mineral recientemente descubierto. De manera por completo accidental, se vio ante un óxido que no le era familiar. Decidió que era el óxido de un nuevo elemento, y lo llamó «escandio», en honor de Escandinavia, donde el mineral había sido encontrado.

Fue otro caza-elementos sueco, Per Teodor Cleve, quien se percató de que el escandio se parecía a uno de los elementos perdidos de Mendéleiev. Se comportaba tal y como Mendéleiev había predicho que le sucedería al ekaboro. De nuevo, la descripción de Mendéleiev del elemento demostró ser casi del todo correcta en cada detalle. El peso atómico del escandio era de 44,96 (la predicción había sido 44); el óxido dé escandio tenía un peso específico de 3,86 (previsión: 3,5), etc.

El triunfo final de Mendéleiev llegó en 1886. Un químico alemán, Clemens Alexander Winkler, se encontraba analizando un mineral de una mina de plata y se le presentaron algunos problemas. Después de descomponer todos los elementos que pudo identificar, halló que aún le quedaba un 70 por ciento de otro mineral. Winkler decidió que éste debía de constituir un elemento desconocido. Trabajó en él durante meses y, al final, logró extraer el elemento. Lo llamó «germanio», por Alemania[3].

---

[3] Constituyó una rara coincidencia que los tres elementos predichos por Mendéleiev fuesen denominados según los países donde nacieron sus descubridores. *(N. del A.)*

Ahora los químicos debían echar una ojeada al tercer elemento de Mendéleiev. El germanio, según averiguó rápidamente Winkler, era sin duda este tercer elemento perdido, el ekasilicio. Su peso atómico era de 72,60 (casi exactamente los previstos 72); su peso específico era de '5,47 (la prevista: 5,5). Tal y como Mendéleiev había dicho, el elemento formaba un tetracloruro de bajo punto de ebullición. Mendéleiev sólo se había equivocado en un cálculo; el germanio fundía a una temperatura menor de la que había vaticinado.

Mendéleiev había triunfado las tres veces... Su tabla periódica fue ahora reconocida como un descubrimiento monumental...

Los dirigentes de Rusia se apresuraron a conceder honores a su prestigioso científico. Lo enviaron en una misión a Estados Unidos (otro país muy subestimado en aquel tiempo por los europeos occidentales) para estudiar los yacimientos petrolíferos de Pennsylvania, a fin de tener una guía de cómo debían desarrollarse los campos petrolíferos del Cáucaso.

Mientras, las más aristocráticas sociedades científicas de Europa también honraban a Mendéleiev. La Royal Society, de Londres, le recompensó con la codiciada «Medalla Davy», en 1882. Le siguieron otras medallas y distinciones.

Mendéleiev fue también un auténtico pionero en otros campos, además de la Química. En 1887, subió en globo para fotografiar un eclipse solar. Hay una fotografía en la que se le ve erguido en la góndola con una gran dignidad, con el aspecto de un patriarca bíblico, con sus flotantes cabellos y su larga barba. Mendéleiev también habló con arrojo contra el Gobierno zarista, en defensa de los estudiantes descontentos. Al igual que otros muchos intelectuales rusos, quedó conmocionado y desilusionado por la derrota de Rusia ante el Japón, en la guerra de 1904, pero no vivió lo suficiente para presenciar la inevitable revolución contra el régimen de los zares.

El triunfo de la tabla periódica de Mendéleiev también aportó reconocimiento y vindicación para Meyer, Newlands e incluso para Béguyer de Chancourtois. En efecto, en 1891, una publicación científica francesa, tardíamente, imprimió el diagrama del más perfeccionado «tornillo telúrico».

LOS ELEMENTOS SIN PREDECIR

Ahora se presentaba la tarea de acabar de rellenar la tabla. El esquema de Mendéleiev sugería que existía un número limitado de elementos. Todo cuanto los químicos tenían que hacer era completar sus hileras y períodos y verificar la existencia de aquellos elementos que aún no habían sido aislados. Por lo menos, esto era lo que parecía...

El flúor era un elemento que se había resistido tozudamente a ser aislado. Los químicos sabían dónde encontrarlo, pero no les acompañaba la suerte a la hora de separarlo de sus compuestos. En 1886, tras heroicos esfuerzos, un químico francés, llamado Henri Moissan, finalmente logró atraparlo.

El flúor había desafiado a su liberación, debido a que era extremadamente activo. Atacaba al agua, a la mayor parte de los metales, e incluso al vidrio, por lo que el equipo de laboratorio tuvo que ser sumergido en agua en cuanto quedó liberado. Además, también atacaba a los tejidos vivos, y Moissan resultó gravemente intoxicado varias veces durante sus experimentos.

Al fin, consiguió hallar la estrategia adecuada. Como contenedores para albergar el gas empleó una aleación de platino y de iridio, el más inerte de los metales conocidos. Para enlentecer la actividad del flúor, enfrió su equipo a la menor temperatura que le fue posible conseguir. Con esas técnicas logró, por lo menos, atrapar un poco de flúor libre dentro de sus recipientes de metal noble. En 1906, el año anterior a su muerte, recibió el premio Nobel de Química por sus logros.

(Moissan consiguió otra clase de fama al anunciar que había logrado fabricar diamantes artificiales partiendo del carbono, al disolverse en hierro fundido. Mostró algunos pedazos de diamante para apoyar su alegación. Pero ahora sabemos que su método no podía dar resultado. Existe la teoría de que un ayudante deslizó algunos fragmentos de diamante en las preparaciones del profesor, como una broma práctica.)

Después del descubrimiento del galio, del escandio y del germanio, aún quedaban tres huecos en la tabla de Mendéleiev: uno en el quinto período y dos en el sexto. Nadie dudó de que, eventualmente, se llenarían a través de nuevos descubrimientos. Pero a todos los había intrigado un molesto detalle. Existían varios elementos conocidos para los que no se había encontrado espacio en la tabla...

El problema comenzó con tres elementos de tierras raras: cerio, erbio y terbio. La tabla de Mendéleiev no tenía un lugar apropiado para ellos y se vio obligado a meterlos juntos de cualquier manera. (Hemos retirado esos elementos de la tabla 16 para evitar problemas.)

Esas patitas de mosca en un cuadro, por otra parte, tan perfecto, habían sido pasados por alto, pero cuanto más tiempo transcurría, más embarazosos resultaban. La lista de nuevos elementos que no encajaban en la tabla continuaba creciendo. ..

En 1879, Lecoq de Boisbaudran, aún al pie de su espectroscopio, descubrió unas nuevas líneas espectrales en un mineral ruso de tierras raras llamado samarsquita. Las adscribió a un nuevo elemento al que denominó «samario». Mientras tanto, Cleve (el químico que había reconocido al escandio como el ekaboro de Mendéleiev), localizó otros dos elementos de tierras raras con el espectroscopio. A una, le llamó «holmio», por Estocolmo, y a la segunda «tulio», por Tule, el antiguo nombre latino de las tierras del lejano Norte. En lo que se refiere al descubrimiento del holmio, un físico francés, llamado Louis Soret, comparte la fama con Cleve, porque también observó aquellas líneas del espectro casi al mismo tiempo.

Los elementos tierras raras siguieron multiplicándose como malas hierbas. Lecoq de Boisbaudran encontró, en la misma mena con holmio, otro elemento al que llamó «disprosio», de la palabra griega dysprositos, de «difícil acceso». Un químico suizo, Jean-Charles Galissard de Marignac, encontró un nuevo elemento al que llamó «iterbio», el cuarto en ser denominado así según el pueblo de Ytterby. Aún consiguió descubrir otro en la mena de holmio; Lecoq de Boisbaudran, que también lo localizó, sugirió que se llamase «gadolinio» en honor de Johan Gadolin, el descubridor del primer elemento de las tierras raras. Y un químico austriaco, Cari Auer Welsbach, desentrañó dos elementos casi idénticos, a los, que llamó «praseodomio («gemelo verde») y «neodimio» («nuevo gemelo»).

Así, pues, aquí había ocho elementos más que debían añadirse a la tabla periódica. ¿Y cómo encajarlos? En ninguna parte, por lo que todos podían ver. Junto con el cerio, el erbio y el terbio, formaban un total de once elementos sin hogar, para los que no existían lugares apropiados.

Lógicamente, los once pertenecían a la hilera IIIa, junto con los demás elementos conocidos de tierras raras. Todos los elementos de tierras raras eran muy parecidos, poseían una valencia de 3 y parecían encontrarse siempre juntos. Pero los compartimientos de la hilera IIIa estaban ya ocupados con el escandio, el itrio y el lantano (véase tabla 16). Y los once elementos sin hogar venían, exactamente, detrás del lantano en peso atómico, tal y como muestra la tabla 17. Esto significaba que debían colocarse en el sexto período. El único lugar en que encajarían en ese período, de acuerdo con sus propiedades químicas, era en el mismo cajón, con el tierras raras del lantano. En resumen, para conseguir que la tabla funcionase, 12 elementos debían amontonarse en el mismo compartimiento. La tabla tan nítida de Mendéleiev se estaba convirtiendo en algo no tan claro.

TABLA 17

ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS CONOCIDOS EN 1886

ELEMENTO	PESO ATÓMICO
Escandio	44,96
Itrio	88,92
Lantano	138,92
Cerio	140,13
Praseodimio	140,92
Neodimio	144,27
Samario	150,35
Gadolinio	157,26
Terbio	158,93
Disprosio	162,51
Holmio	164,94
Erbio	167,27
Tulio	168,94
Iterbio	173,04

Se iban a presentar más complicaciones, como nos proponemos exponer.

Para poner al día nuestra crónica del descubrimiento de los elementos, relacionamos en la tabla 18 los elementos descubiertos en los años que siguieron a la publicación de la tabla de Mendéleiev. La lista de los elementos había aumentado hasta setenta y cuatro.

TABLA 18

ELEMENTOS DESCUBIERTOS EN LA ÉPOCA DE MENDÉLEIEV

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Galio	Ga	69,72	1875	Boisbaudran
Holmio	Ho	164,94	1878	Cleve Soret
Iterbio	Yb	173,04	1878	Marignac
Samario	Sm	150,35	1879	Boisbaudran
Tulio	Tm	168,94	1879	Cleve
Escandio	Sc	44,96	1879	Nilson
Gadolinio	Gd	157,26	1880	Marignac
Praseodimio	Pr	140,92	1885	Welsbach
Neodimio	Nd	144,27	1885	Welsbach
Germanio	Ge	72,60	1886	Winkler
Disprosio	Dy	162,51	1886	Boisbaudran
Flúor	F	19,00	1886	Moissan

LA HILERA IMPREVISTA

A fines del siglo xix, otro hecho asombroso conmocionó a los químicos. No hacían más que sacar a luz una nueva serie de elementos que no encontraban sitio en la tabla de Mendéleiev. Pero esta vez la solución era sencilla. Simplemente, Mendéleiev se había olvidado una hilera completa...

Realmente, la historia comienza con el intrigante hecho que Henry Cavendish ya había descubierto antes. Había tratado de averiguar si existían otros gases en el aire, además del oxígeno y el nitrógeno. El retirar el oxígeno de su muestra de aire no constituía ningún problema; consiguió desembarazarse con facilidad de él. El nitrógeno era una cosa más difícil, porque se negaba a formar compuestos para ser eliminado. Pero Cavendish, finalmente, consiguió forzarlo en combinaciones con algún tipo de producto químico muy activo. Al fin, se quedó con el 1 % de aire

original y que no podía combinarse con nada. Decidió que este gas que quedaba no podía ser nitrógeno. Debería ser incluso más inerte que el nitrógeno. Pero no existía modo de identificar el gas, y los otros químicos ignoraron la conjetura de Cavendish de que se trataba de un nuevo elemento.

En la década de 1890, Robert John Strutt, el famoso físico más conocido como Lord Rayleigh, reavivó la cuestión. Descubrió que el «nitrógeno» del aire pesaba ligeramente más que las muestras de nitrógeno de los minerales que contenían nitrógeno. ¿Significaba esto, quizá, que algún gas desconocido y más pesado, se encontraba mezclado con el nitrógeno que había obtenido del aire? Lord Rayleigh puso a un ayudante, un químico escocés llamado William Ramsay, a trabajar en este problema.

Ramsay repitió el experimento de Cavendish, y de una manera parecida llegó al final a un burbujeo de un gas completo inerte.

Pero ahora contaba con el espectroscopio, instrumento del que Cavendish había carecido, para examinar este gas. Lo calentó hasta que brilló, y su espectro mostró unas nuevas líneas. En efecto, se trataba de un nuevo elemento. Ramsay lo llamó «argón», del griego argos, inactivo.

¿Dónde debía situarse el argón en la tabla periódica? Su peso atómico, 39,944, quedaba entre los del potasio y el calcio, pero no había ningún puesto vacante entre ellos. La solución de Ramsay fue situar el argón por delante del potasio, a pesar de su levemente mayor peso atómico, porque de esta manera podía colocar al nuevo elemento al final de la columna precedente y añadir una nueva hilera.

Debemos recordar que Mendéleiev había confeccionado su tabla basándose en las valencias. ¿Y cuál era la valencia del argón? Pues la valencia de un elemento completamente inerte podía considerarse igual a cero. Esto encajaría muy bien con el esquema de Mendéleiev, puesto que la valencia de los elementos, inmediatamente antes e inmediatamente después del argón, era de 1. Si el cero se colocaba entre estos unos, y se crease un nuevo escalón en cada período, todos los períodos seguirían estando bien, dado que una nueva hilera había sido añadida al final de la tabla.

Ramsay hizo sitio para añadir la hilera: la llamó «hilera O». El argón fue incluido en la hilera O en la parte inferior del tercer período, debajo del cloro. Naturalmente,

aquello levantó de nuevo la veda en la caza de los elementos. ¿Qué otros elementos deberían situarse en la nueva hilera?

Ramsay comenzó por buscarlos en el aire, razonando que, probablemente, contenía trazas de otros gases inertes además del argón. Su intuición resultó correcta. Con un colaborador, Morris William Travers, pronto rastreó el «neón» (al que llamó así derivado de la palabra griega neos, que significa «nuevo»), «criptón» (que significaba «oculto») y xenón (con significado de «extraño»). Los tres eran gases inertes, como el argón. El neón ocupaba muy bien su lugar debajo del flúor y al final del segundo período, el criptón debajo del bromo, en el cuarto período, y el xenón debajo del yodo, en el quinto período.

Mientras tanto, Ramsay había tenido suerte con otro gas inerte en una zona por completo inesperada. Un químico norteamericano, William Francés Hillebrand, había descubierto en un mineral que contenía uranio, un gas del que pensó que se trataba de nitrógeno. Ramsay, que seguía la exploración hacia los nuevos gases, decidió examinarlo posteriormente. Él también halló el gas inerte en un mineral que contenía uranio, y lo observó con el espectroscopio... ¡Eureka...! Mostraba unas líneas que no pertenecían al nitrógeno. Y lo que resultaba más sorprendente era que se trataba de las mismas líneas que habían sido descubiertas en el Sol, hacía casi treinta años, y que se atribuyeron a un elemento solar al que llamó helio el astrónomo inglés Lockyer (véase capítulo 10).

Lockyer no tenía la menor idea de qué clase de elemento debería ser, por lo que le había dado la terminación común «io», que, por acuerdo, se aplica a los metales. Si hubiese sospechado que se trataba de un gas, seguramente le habría denominado «helión».

El helio, el elemento más ligero después, del hidrógeno, naturalmente, ocupó su sitio al final del primer período. Ramsay había llenado ya los lugares en la nueva hilera desde la primera a la quinta columnas. Por su descubrimiento de los gases «nobles», recibió el premio Nobel de Química, en 1904.

Estos elementos, con sus pesos, atómicos, se relacionan en la tabla 19. Elevaron el número total de los elementos conocidos hasta 79.

TABLA 19

ELEMENTOS DESCUBIERTOS EN LA ÉPOCA DE RAMSAY

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Argón	Ar	39,944	1894	Rayleigh Ramsay
Helio	He	4,003	1895	Ramsay
Neón	Ne	20,183	1898	Ramsay Travers
Criptón	Kr	83,80	1898	Ramsay Travers
Xenón	Xe	131,30	1898	Ramsay Travers

La tabla periódica había resistido, prácticamente, toda clase de pruebas. Su esquema general estaba tan bien establecido, que la adición de una nueva hilera no lo había estropeado en absoluto; en realidad, aún lo había reforzado. Pero existía aún el espinoso problema de la bolsa repleta con los elementos de tierras raras, que se aglomeraban con el lantano. ¿Y qué cabía decir del final de la tabla, de más allá del sexto período? ¿Cuántos elementos más se encontrarían allí? ¿Y qué longitud acabaría teniendo la tabla?

Capítulo 14
Más Pequeño que el Átomo

Los químicos, tenían ahora un cuadro muy bien ordenado de los elementos de que estaba formado el Universo. Pero todos sus descubrimientos y su organización de los elementos, les habían llevado más lejos que nunca de la respuesta a la vieja pregunta de Tales. Éste había preguntado, de una manera muy razonable, si existía una sustancia básica —un definitivo bloque de construcción— que constituyese todo el material del Universo. Las decenas de diferentes elementos que los químicos habían encontrado sólo habían incurrido en una petición de principio. ¿De qué estaban hechos los elementos?

Ya en 1815, un físico y químico inglés, llamado William Prout, había ofrecido una interesante respuesta. El átomo de hidrógeno. Si se le atribuye un peso atómico de 1, cabe suponer que todos los demás elementos están hechos con ese bloque de construcción. El carbono, por ejemplo, con un peso atómico de 12, puede considerarse una combinación muy apretada de 12 átomos de hidrógeno; el nitrógeno estaría compuesto de 14 átomos de hidrógeno, el azufre por 32 átomos de hidrógeno, etc.…

Por desgracia, la «hipótesis de Prout» pronto tropezó con el hecho de que numerosos elementos poseían un peso atómico que no era un múltiplo entero del hidrógeno. Las mediciones de Berzelius habían mostrado que el peso atómico del boro, por ejemplo, era de 10,8; el del cloro, 35,5, etc. ¡Esto significaría que el boro estaba compuesto de 10,8 átomos de hidrógeno...! Se partiera como se partiese, no se podía dividir el átomo de boro en átomos de hidrógeno (y ni siquiera en cuartos o mitades de átomo). Y la situación aún llegaba a ser peor a medida que los pesos atómicos de los elementos se iban midiendo con mayor precisión. Cuando las medidas eran de una precisión refinada, como las que efectuó el químico norteamericano Theodore William Richards a fines del siglo xix (y por cuyo trabajo recibiría el premio Nobel de Química), éste se halló con que los pesos atómicos debían ser expresados en fracciones, que a veces llegaban hasta los tres decimales.

Esto, ciertamente, podía considerarse una prueba concluyente de que el átomo de hidrógeno no podía ser el bloque de construcción de los elementos. Y luego, a

finales de la década de 1890, un físico hizo una serie de dramáticos descubrimientos que dejaban muerta y bien muerta la premisa de Prout... Averiguó que, a fin de cuentas, el átomo de hidrógeno no era la unidad menor de la materia... En realidad, existían unas partículas tan pequeñas que el mismo átomo de hidrógeno podía considerarse una estructura enorme. Y lo que es más, la teoría de que los átomos eran individuales se derrumbaba también completamente por su base...

Fue un físico británico, Joseph John Thomson, el que descubrió la primera partícula «subatómica». Los experimentadores con electricidad habían averiguado que una corriente eléctrica, en el vacío, producía una radiación brillante a la que llamaron «rayos catódicos». Thomson mostró que esos «rayos» consistían en partículas muy pequeñas que llevaban una carga eléctrica negativa. La masa de la partícula era sólo 1/800 del átomo de hidrógeno. Dado que parecía la última unidad de electricidad, se la llamó «electrón».

Mientras tanto, el físico alemán Wilhelm Konrad Roentgen, cuando estudiaba los mismos rayos catódicos, había descubierto, accidentalmente, que podían alcanzar una muy enérgica penetración radiactiva. Llamó a estas radiaciones «rayos X». Muy poco después, el físico francés Antoine Henri Becquerel, realizó su famoso descubrimiento de la radiactividad, a través del accidente de una placa fotográfica guardada en un cajón, con algunas sales de uranio, y que fue oscurecida por la radiación procedente del uranio. Esta radiación, llegado el momento, se averiguó que consistía en «rayos alfa», «rayos beta» (electrones) y «rayos gamma».

El uranio no era el único átomo que, espontáneamente, disparaba rayos y trozos de sí mismo, como los físicos pronto descubrirían. Existían otros elementos radiactivos. Por tanto, después de numerosos siglos de creer en la indivisibilidad del átomo, los científicos, de repente, habían encontrado átomos que se rompían por todas partes...

Naturalmente, siguieron tratando de ver si podían separar los átomos, o por lo menos explorar la estructura interior del átomo. El cabecilla de esta exploración fue Ernest Rutherford, en el famoso «Laboratorio Cavendish», en la Universidad de Cambridge.

Empezó por bombardear átomos con partículas alfa emitidas por material radiactivo. Las partículas alfa eran más de siete mil veces tan macizas como las partículas

beta, y viajaban a una velocidad muy elevada cuando eran emitidas por átomos radiactivos. Rutherford montó láminas de un metal delgado en la pista de esas pequeñas balas. La mayor parte de las partículas alfa pasaron muy bien a través de la hoja fina metálica. Pero unas cuantas fueron reflejadas y otras hasta saltaban hacia atrás. Tal y como observó Rutherford, se trataba de algo tan notable como si se hubiesen disparado balas de verdad contra una hoja de papel y algunas de ellas hubiesen rebotado.

Decidió que las partículas alfa que habían rebotado deberían haber chocado con unos pesados y concentrados blancos en el interior de la delgada lámina de metal. Debía de tratarse de los núcleos de los átomos metálicos. Y del hecho de que la mayor parte de sus balas pasara a través de la lámina sin ser reflejados, dedujo que el núcleo de cada átomo debería ser muy pequeño, tan pequeño que sólo una de cada varios millares de sus balas, alcanzaba un núcleo. Por tanto, la mayor parte del volumen de un átomo debía de consistir en espacios casi vacíos poblados sólo por los ligeros electrones.

¿Y de qué estaba hecho el núcleo? Según el comportamiento de los átomos de hidrógeno, Rutherford decidió que consistía en una o más de una partícula cargada positivamente, a las que llamó «protones». Cada núcleo tenía tantos protones como el átomo electrones, por lo que las cargas del protón y del electrón se equilibraban, y el átomo, como un todo, era eléctricamente neutro.

El átomo de hidrógeno contiene sólo un protón y un electrón. El átomo de helio posee dos protones y dos electrones; en realidad, su núcleo es el mismo que una partícula alfa.

Rutherford averiguó que era capaz de cambiar átomos al cortar piezas y añadirlas en su núcleo por medio de sus proyectiles de partículas alfa. De esta manera, transformó átomos de hidrógeno en átomos de oxígeno en 1919. Por fin se había logrado el antiguo sueño alquímico de la transmutación, pero de una manera en la que los alquimistas jamás habían soñado.

RADIACTIVIDAD

Thomson, Roentgen, Becquerel y Rutherford todos ellos recibieron el premio Nobel por sus trabajos. Pero el más famoso de los galardonados con el premio Nobel en el

cambio de siglo, fue Marie Curie, nacida María Sklodowska, en Polonia, en 1867. Marie marchó a París para proseguir su educación (en la Sorbona), y allí conoció y se casó con un químico francés, Pierre Curie.

El descubrimiento de Becquerel de las radiaciones del uranio fascinó a Marie; fue ella la que sugirió el término «radiactividad». Con entusiasmo e imaginación, se sumergió en una carrera de investigación de este fenómeno. Marie empezó por tratar de medir la fuerza de la radiactividad. Como instrumento de medición empleó el fenómeno de la piezoelectricidad, que estaba relacionado con el comportamiento de los cristales, y que había sido descubierto por Pierre Curie. Pierre, percatándose quizá de que su mujer era una científica más competente que él, abandonó sus propias investigaciones y se unió a las de su esposa.

Mientras medían la radiactividad de muestras de uranio, averiguaron, ante su gran sorpresa, que algunas muestras eran varias veces más radiactivas que lo que podrían corresponderles por su contenido en uranio. Esto sólo podía significar que estaban presentes otros elementos radiactivos. Pero si así era, la cantidad debía de ser extremadamente pequeña, porque los Curie fueron incapaces de detectarla por los procedimientos corrientes de análisis químicos. Así que decidieron que debían reunir grandes cantidades, de la mena para conseguir una cantidad apreciable de aquellas trazas de mineral, con el fin de examinarlas. Consiguieron varias toneladas de mena de unas minas de Bohemia; el Gobierno austriaco no tenía ningún destino que darles y quedó agradecido por desprenderse de ellas, dado que los Curie pagaban el transporte. Esto representó el objetivo de toda su vida.

Instalaron un almacén en un pequeño cobertizo sin calefacción y comenzaron a trabajar con sus montañas y montañas de mena de uranio. Año tras año, fueron concentrando la radiactividad, apartando el material inactivo y continuando sus trabajos con el activo. (Marie incluso se tomó su tiempo para tener un hijo, Irene, que más tarde también se convirtió en una prestigiosa científica.) Al final, en julio de 1898, consiguieron reducir sus toneladas de mena a unos residuos altamente radiactivos. Lo que tenían era una pizca de un polvo blanco, que era cuatrocientas veces más radiactivo que la misma cantidad de uranio puro lo hubiera sido. En este escaso material encontraron un nuevo elemento que se parecía al telurio.

Mendéleiev lo habría llamado «ekatelurio». Los Curie lo llamaron «polonio», por el país natural de Marie.

No obstante, este elemento no era el causante de toda aquella radiactividad. Un elemento aún más' activo debía ocultarse en su mena. Seis meses después, finalmente, concentraron su elemento. Sus propiedades eran parecidas a las del bario. El elemento se adaptaba en la hilera IIa del séptimo período de la tabla de Mendéleiev. Fue el primer nuevo elemento descubierto en el séptimo período desde que Berzelius había encontrado el torio, sesenta años antes.

Los Curie llamaron a este nuevo elemento «radio», debido a su poderosa radiactividad.

Pierre Curie murió en 1906, como resultado de un accidente de circulación (en el que estuvo implicado un coche tirado por caballos, no uno de los nuevos coches de motor). Marie continuó desempeñando la cátedra de su marido en la Sorbona y continuó los trabajos de investigación ella sola. Fue la primera mujer profesora en la historia de aquella orgullosa institución. Además, ha sido el único científico en la Historia que ha recibido dos premios Nobel: uno de Física (compartido con su marido y con Becquerel), por sus exactas mediciones de la radiactividad, y otro de Química, por el descubrimiento del polonio y del radio.

Poco después de que los Curie rastreasen aquellos dos raros elementos radiactivos, se descubrieron dos más. En 1899, un químico francés, André-Louis Debierne, encontró un elemento que se adaptaba a la hilera IIIa, a la derecha del lantano. Lo llamó «actinio», del griego aktís, rayo. Luego, en 1900, un físico alemán, Friedrich Ernst Dorn, descubrió un gas sumamente radiactivo asociado con radio. Más tarde, Ramsay mostró que era un sexto gas inerte, perteneciente a los otros gases nobles de la hilera O. Se le llamó «radón».

Los elementos radiactivos se habían hecho cargo del centro del escenario. Pero los químicos aún seguían enzarzados también en la caza de los no radiactivos. En 1901, un químico francés, llamado Eugène Demarçay, que había ayudado a los Curie a localizar el radio con el espectroscopio, se dedicó a un nuevo elemento de tierras raras, al que llamó «europio», por Europa. Otro químico francés, Georges Urbain, también encontró un elemento de tierras raras para añadirlo a la lista: lo llamó

«lutecio», por el antiguo nombre romano (Lutecia) de París. Fue el elemento de tierras raras más pesado identificado hasta aquel momento.

En la tabla 20 presentamos la lista de los elementos descubiertos en el cambio de siglo.

TABLA 20

ELEMENTOS DESCUBIERTOS EN LA ÉPOCA DE LOS CURIE

ELEMENTO	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Polonio	Po	210	1898	Marie Curie Pierre Curie
Radio	Ra	226,05	1898	Marie Curie Pierre Curie
Actinio	Ac	227	1899	Debierne
Radón	Rn	222	1900	Dorn
Europio	Eu	152,0	1901	Demarçay
Lutecio	Lu	174,99	1907	Urbain

ISÓTOPOS

La mayor parte de estos elementos se adaptaban estupendamente a la tabla periódica. El radón era un gas inerte; el radio, un elemento alcalinotérreo; el polonio, un pariente del telurio, y el actinio, un pariente del lantano. Quedaba un hueco exacto para cada uno de ellos. Además, ayudaban a rellenar los períodos sexto y séptimo, y aún quedaba mucho espacio para nuevos elementos.

Pero los elementos radiactivos introdujeron nuevos problemas en la tabla. Constituyeron un rompecabezas de no pequeñas proporciones.

Rutherford y su ayudante, Frederick Soddy, se percataron, casi al instante, de que los elementos radiactivos debían de estar continuamente cambiando. Cada vez que un átomo radiactivo emitía una partícula alfa o una partícula beta, se convertía en un átomo diferente. En otras palabras, la transmutación espontánea estaba en funcionamiento durante todo el tiempo.

Cada uno de los elementos radiactivos tiene cierta «vida media», como Rutherford la denominó. Ésta mide la proporción de su ruptura, es decir, el tiempo que tardan la mitad de sus átomos en declinar hacia otros átomos. Por ejemplo, la vida media del uranio es 4,5 mil millones de años; la del torio, de 14 mil millones de años. Esto es algo que avanza muy despacio, en toda la historia de nuestro planeta, sólo una parte de estos elementos ha cambiado. Pero, por otro lado, también tenemos al radio, con una vida media de sólo mil seiscientos años; el actinio, con unos veintidós años; el polonio, con unos cuatro meses y el radón menos de cuatro días... Ya no debería haber prácticamente nada de estos elementos en nuestro viejo planeta. En realidad, ya no quedarían de no haber tan pequeñas cantidades de ellos, que se forman constantemente por la ruptura de los elementos pesados.

El rompecabezas de la tabla periódica se planteó cuando los químicos comenzaron a fijar su atención en los productos de la decadencia de los elementos radiactivos. Se encontraron con tres diferentes series de productos, denominados «la serie del uranio», la «serie del torio» y «la serie del actinio», tras el elemento inicial en cada caso. Muy pronto, los químicos identificaron más de cuarenta «elementos» entre estos productos...

Las tres series terminaban en el plomo: éste era el elemento final y estable en el que acababan. (Menuda ironía para los alquimistas: transmutaciones que acababan en plomo, en vez de ser al revés...) Si el plomo era el producto final, entonces todos los elementos transicionales formados por la decadencia radiactiva de los elementos más pesados debería encontrarse entre el plomo y el uranio en peso atómico. El problema radicaba en que sólo quedaban tres puestos vacantes en la tabla periódica en ese intervalo. ¿Cómo acomodar más de cuarenta elementos en tres vacantes?

El colega de Rutherford, Soddy, al final (en 1913) aportó la respuesta. No eran cuarenta elementos diferentes, sino únicamente variedades de sólo unos cuantos elementos. Un elemento singular debería tener un número de formas diferentes, que difiriesen levemente en peso atómico y con distintas radiactividades. Químicamente, todos pertenecían al mismo lugar de la tabla periódica. Soddy los llamó «isótopos», del griego isos, igual, y topos, lugar: «el mismo lugar».

El cómo podía existir un elemento con diferentes pesos atómicos no quedó claro hasta 1932, cuando el físico inglés James Chadwick descubrió una nueva partícula

atómica. La partícula es el neutrón, que posee la misma masa que el protón, pero no carga eléctrica. Esto aportó luz al hecho de que el núcleo de un átomo, en casi todos los casos, contuviese tanto neutrones como protones.

Ahora, tomando el caso más sencillo, vamos a considerar un núcleo compuesto de un protón y de un neutrón. Dado que existe sólo una carga positiva en el núcleo, el átomo tendrá sólo un electrón fuera del núcleo. En lo que se refiere al comportamiento químico, el electrón es una cosa importante; el núcleo no interviene, directamente, en las propiedades químicas del átomo. La actividad química de cada elemento viene determinada por el número y disposición de sus electrones; éstos dictan la clase de compuestos que pueden formarse.

Así, el hidrógeno es hidrógeno porque tiene un electrón, y de la misma forma los restantes elementos. El átomo de hidrógeno siempre posee un protón, y permite un electrón. Pero su núcleo puede contener también uno o dos neutrones. La variedad corriente de hidrógeno no tiene neutrón en su núcleo.

Sin embargo, cada muestra de hidrógeno en la Naturaleza también incluye pequeñas cantidades de dos, «isótopos» más raros, que contienen uno o dos neutrones, respectivamente.

Esto explica por qué los elementos poseen variedades con diferentes pesos atómicos. El isótopo de hidrógeno, con un neutrón y un protón en su núcleo, tiene un peso atómico de 2, naturalmente, dado que el peso del neutrón es casi igual al de un protón. De forma parecida, el isótopo de hidrógeno que contiene dos neutrones y un protón, posee un peso atómico de 3. Lo mismo cabe decir de las variedades de todos los demás elementos: los pesos atómicos de sus isótopos varían de acuerdo con el número de neutrones que existen en su núcleo. La presencia de neutrones de más, o de menos, de lo usual, no afecta las propiedades químicas del elemento, puesto que dependen del número de electrones., el cual, a su vez, sólo está determinado por el número de protones.

En el caso del uranio, el núcleo de la forma común del átomo, posee 92 protones y 146 neutrones, lo cual da un total de 238 «nucleones» (partículas nucleares), y un peso atómico correspondiente de 238. Éste es conocido como uranio-238, o U_{238}. Su famoso hermano fisionable, el uranio-235, tiene tres neutrones menos. Este núcleo

es menos estable, o más radiactivo, por lo que su vida media es de sólo setecientos millones de años, contra los 4,5 mil millones de años del uranio 238.

La teoría del isótopo fue tenida en cuenta al instante para las cuarenta especies raras, de elementos descubiertos entre el uranio y el plomo. De hecho, eran isótopos de sólo unos cuantos elementos. Pero la teoría tiene mucho más que ver que esto. Mostraba, por primera vez, por qué los pesos atómicos de la mayor parte de los elementos no eran números enteros. La razón era, simplemente, que los elementos tal y como se encuentran en la Naturaleza, constituían mezclas de isótopos.

Los elementos radiactivos no son los únicos compuestos de isótopos. Sucede que numerosos elementos estables están constituidos de dos o más diferentes especies de átomos. Esto fue mostrado por un instrumento denominado «espectrógrafo de masas», desarrollado por el físico inglés Francis William Aston, un ayudante de Thomson. Este instrumento separa los elementos estables de diferentes pesos al estimularlos en un campo magnético, donde toman diferentes sendas de acuerdo con sus pesos. Con este instrumento, Aston averiguó que, en el elemento neón, nueve partes del átomo poseían un peso atómico de 20 y una décima parte un peso de 22. Esto explicaba el porqué el peso promedio del neón era de 20,2. (Otro isótopo, el neón 21, fue descubierto después, pero es tan raro que no afecta apreciablemente el peso del elemento.)

El peso atómico del cloro de 35,5 fue aclarado de la misma forma. Las tres cuartas partes de sus átomos poseen un peso de 35 y la otra cuarta parte pesa 37 (con dos neutrones de más).

Así, decimos que el cloro está compuesto por dos isótopos de «números de masa» 35 y 37.

En algunos casos, los isótopos no comunes son tan raros que el peso atómico del elemento es, virtualmente, un número entero. En el nitrógeno, por ejemplo, sólo cuatro átomos de cada 1.000 tienen un número de masa de 15: el resto es nitrógeno 14. Por ello, el peso atómico del nitrógeno es, prácticamente, de 14.

Unos cuantos elementos tienen átomos de sólo un peso. La única variedad de flúor encontrada en la Naturaleza, por ejemplo, es el flúor 19. Naturalmente, el peso atómico del elemento es, exactamente, de 19.

Prout no estaba, pues, tan equivocado. Si hubiera dicho que todos los elementos estaban hechos de núcleos de hidrógeno (el protón), hubiera estado muy cerca del punto exacto. Lo que no reconoció, y no podía hacerlo, era el neutrón, una partícula muy difícil de detectar que pesa lo mismo que el protón.

Capítulo 15
El Orden del Rango de los Elementos

Los descubrimientos que he expuesto en el último capítulo, empleando una palabra popular en la actualidad, «degradaron» la importancia del peso atómico. A fin de cuentas, esta propiedad no era tan decisiva en la identificación de los elementos. Aquí, por ejemplo, existían tres, formas de plomo con diferentes pesos atómicos: plomo-206, plomo-207 y plomo-208 (los estadios finales de la degradación de las series del uranio, el actinio y el torio, respectivamente). A pesar de sus diferentes pesos, los tres eran plomo; químicamente hablando, forman idénticos tripletes. Así, pues, ¿qué distinguía a un elemento de otro? ¿Qué hace que acaban en plomo?

Ya hemos razonado la respuesta en el capítulo anterior: el rasgo decisivo de un elemento es el número de protones en su núcleo. Pero en la Ciencia, nada es evidente por sí mismo. Los descubrimientos y conocimientos se consiguen sólo tras un duro y minucioso trabajo. A principios de la década de 1900, los científicos atómicos tenían, sólo unas escasísimas nociones de lo que hubiese dentro del átomo, y la existencia de neutrones ni siquiera se sospechaba.

La respuesta a la pregunta acerca de los elementos fue descubierta en lo que podría considerarse una forma indirecta, y con lo que parecía un instrumento no adecuado: los rayos X.

Un físico británico, llamado Charles Glaver Barkla, había averiguado que cada elemento, al ser alcanzado por los rayos X, los dispersaba de una forma muy particular; es decir, cada uno producía sus propios «rayos X característicos». Esto condujo a otro joven físico británico, Henry Gwyn-Jeffreys Moseley, a realizar un estudio sistemático de los elementos con rayos X a modo de prueba.

Cuando continuó con la lista de elementos, Moseley descubrió que la longitud de onda de los característicos rayos X se hacía, progresivamente, más corta a medida que se incrementaba el peso atómico. Así, pues, decidió que la longitud de onda reflejaba el tamaño de la órbita de los electrones en torno del núcleo del átomo. Probablemente, los electrones eran responsables de las emisiones de rayos X. Cuanto más cercanos estaban los electrones al núcleo, más pequeña sería su órbita,

y cuanto más estrecha fuese la órbita, más corta la longitud de onda de los rayos X emitidos. Por lo menos, tal era su razonamiento...

Así, la longitud de onda disminuía con el peso del átomo. En los átomos más pesados, pues, los electrones deberían encontrarse más próximos al núcleo. ¿Y cuál era la fuerza que les hacía acercarse? Debía de tratarse de un incremento en la carga positiva del núcleo, atrayendo a los electrones cargados negativamente. En otras palabras, la carga nuclear debía aumentarse de un elemento a otro a través de toda la tabla periódica. La forma más razonable para tener esto en cuenta, radicaba en suponer que cada elemento tenía una unidad más de carga positiva (es decir, un protón más) que el anterior.

La tabla comienza con el hidrógeno: una carga positiva. A continuación, sobre la base de la carga, viene el helio (dos cargas, el litio (tres cargas), y así sucesivamente. De este modo, los elementos pueden relacionarse según el «número atómico», refiriéndose al número de cargas positivas en el núcleo.

Una vez se publicó el descubrimiento de Moseley, los químicos comenzaron a asignar números atómicos a un elemento después del otro. La tabla 21 relaciona todos los elementos entonces conocidos en orden del creciente número atómico. El más pesado elemento conocido, el uranio, tenía el número 92.

El número atómico demostró en seguida ser mucho más provechoso que el peso atómico, para organizar la tabla de los elementos. Por ejemplo, en términos de peso atómico existía una brecha sustancial entre el hidrógeno (1,0080) y el helio (4,003). Esto, decían, proporcionaría espacio para un elemento con un peso atómico de cerca de 3. Pero sus respectivos números atómicos de 1 y 2, que significaban que el átomo de hidrógeno contenía un protón y el átomo de helio sólo dos, definitivamente, desarrollaba la posibilidad de que existiese cualquier elemento entre ellos. Por otra parte, un número atómico pasado por alto en la lista significaba, de una forma definida, un elemento perdido. En resumen, el empleo de los números atómicos determinaba con precisión todos los elementos pasados por alto, y también dejaba muy claro cuáles elementos no se habían omitido.

Además, el sistema de número atómico resolvía el misterio de los pocos elementos que debían ser situados en orden incorrecto de peso atómico en la tabla periódica. Tomemos como ejemplo el telurio y el yodo. Sobre unos antecedentes químicos,

Mendéleiev había situado el telurio por delante del yodo, aunque su peso atómico fuese mayor. Ahora, al desarrollar esto, de acuerdo con la carga nuclear, se demostraba que Mendéleiev había tenido razón: el telurio tiene 52 protones y el yodo, 53. La razón de que el telurio posea un peso atómico superior es que sus isótopos cargan el elemento en el lado más pesado. Tiene siete isótopos y el más común es el más pesado: el telurio-128. Por otra parte, el yodo se presenta sólo de una forma: el yodo-127. Por tanto, el telurio, tal y como se encuentra en la Naturaleza, es levemente más pesado.

Este mismo hecho sucede con el argón-potasio y el cobalto-níquel, y sus respectivos cambios en la tabla periódica; el argón es levemente más pesado que el potasio, y el cobalto que el níquel, debido a un desequilibrio en los pesos atómicos de sus isótopos.

Moseley no vivió para ver lo estupendamente que funcionaba su descubrimiento de los números atómicos. En 1915, a la edad de veintisiete años, murió de un balazo en la batalla de Gallipoli. Fue la trágica pérdida de uno de los mejores cerebros de la Ciencia.

TABLA 21

Los Elementos en el Orden de su Peso Atómico

1	Hidrógeno	24	Cromo	47	Plata	70	Iterbio
2	Helio	25	Manganeso	48	Cadmio	71	Lutecio
3	Litio	26	Hierro	49	Indio	72	
4	Berilio	27	Cobalto	50	Estaño	73	Tantalio
5	Boro	28	Níquel	51	Antimonio	74	Tungsteno
6	Carbono	29	Cobre	52	Telurio	75	
7	Nitrógeno	30	Cinc	53	Yodo	76	Osmio
8	Oxígeno	31	Galio	54	Xenón	77	Iridio
9	Flúor	32	Germanio	55	Cesio	78	Platino
10	Neón	33	Arsénico	56	Bario	79	Oro
11	Sodio	34	Selenio	57	Lantano	80	Mercurio
12	Magnesio	35	Bromo	58	Cerio	81	Talio
13	Aluminio	36	Criptón	59	Praseodimio	82	Plomo

14	Silicio	37	Rubidio	60	Neodimio	83	Bismuto
15	Fósforo	38	Estroncio	61		84	Polonio (1)
16	Azufre	39	Itrio	62	Samario	85	Radón (1)
17	Cloro	40	Circonio	63	Europio	86	
18	Argón	41	Niobio	64	Gadolinio	87	
19	Potasio	42	Molibdeno	65	Terbio	88	Radio (1)
20	Calcio	43		66	Disprosio	89	Actinio (1)
21	Escandio	44	Rutenio	67	Holmio	90	Torio (1)
22	Titanio	45	Rodio	68	Erbio	91	
23	Vanadio	46	Paladio	69	Tulio	92	Uranio (1)
(1) Radiactivos.							

LOS NOVENTA Y DOS ELEMENTOS

La tabla 21 muestra que todos los elementos conocidos en la época de Moseley, y por debajo del peso atómico 83, eran radiactivos. De esos elementos pesados, sólo el torio y el radio tienen una larga vida. Los químicos estaban seguros de que los elementos que faltaban, 85, 87 y 91, se demostraría que eran radiactivos y de una vida muy breve. Que verosímilmente se trataba de productos transitorios de la desintegración del uranio y del torio.

En 1917, el elemento 91 fue rastreado y, de una forma segura, confirmó la predicción. Sus descubridores fueron Otto Hahn y Lise Meitner (que más tarde se harían famosos por su descubrimiento de la fisión del uranio). Trabajando en Berlín, esos dos científicos descompusieron pechblenda con ácido caliente para separar sus elementos. Después de haber quitado las trazas de radio y de otros elementos radiactivos conocidos, encontraron un residuo radiactivo que demostró ser el elemento 91. Se desintegraba hasta el actinio, por lo que fue denominado «protactinio». Soddy, y algunos de sus colaboradores, descubrieron, independientemente, el protactinio, pero fueron Hahn y Meitner quienes lo publicaron primero.

Los científicos, atómicos se sentían seguros de que los elementos de más allá del 92 (uranio), tendrían una vida tan breve que no sobreviviría la menor traza de ellos para encontrarlos en la Naturaleza. Así, pues, para todos los efectos prácticos,

constituía el fin de la tabla periódica. El Universo estaba hecho sólo de 92 elementos...

Quedaban aún algunos huecos: unas pocas presas que debían ser aún desenterradas por los cazadores de elementos... Entre los mismos parecía haber dos elementos perdidos de tierras raras: los pesos atómicos 61 y 72.

Urbain, el descubridor del lutecio ya a principios de 1800, había pensado que detectaba el número 72 en un material de tierras raras. Llamó a su descubrimiento «celtio», por los celtas de la antigua Francia. Pero el análisis con rayos X mostró que el «celtio» no era más que una mezcla de lutecio y de iterbio. El «descubrimiento» de Urbain no fue más que la primera de una larga lista de falsas alarmas, que no es posible explicar dada la corta extensión de este libro...

El físico danés Niels Bohr decidió, finalmente, por sus estudios de la disposición de los electrones en los átomos, que el elemento 72 no era, en absoluto, un elemento de tierras raras. El número 72 pertenecía a la hilera IVa, cerca del circonio, y debía de ser parecido a este metal. Y así fue... En 1923, el físico alemán Dirk Coster y el químico húngaro Georg von Hevesy, trabajando en Copenhague, examinaron con los rayos X unos, aparentemente, compuestos purificados de circonio. Los rayos X revelaron que otro elemento, muy parecido al circonio, estaba mezclado con éste. Lo denominaron «hafnio», por el nombre latino de Copenhague. El hafnio no es un elemento muy raro; la razón de que no se le identificase antes era que constituye casi un gemelo químico del circonio.

Tres químicos alemanes, Walter Noddack, Ida Tacke y Otto Berg, llevaron a cabo una investigación sistemática con rayos X de algunos minerales, para descubrir nuevos elementos, y en 1925 fueron recompensados por el descubrimiento del elemento número 75. Lo llamaron «renio», por el nombre del río Rin. No era radiactivo y, en realidad, fue el último de los elementos estables en ser descubierto.

La tabla 22 proporciona la lista de los nuevos elementos descubiertos en la década siguiente a Moseley.

TABLA 22

ELEMENTOS DESCUBIERTOS EN LA DÉCADA SIGUIENTE A MOSELEY

ELEMENTO	SÍMBOLO	NÚMERO	PESO ATÓMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Protactinio	Pa	91	231	1917	Hahn Meitner
Hafnio	Hf	72	178,50	1923	Coster Hevesy
Renio	Re	75	186,22	1925	Noddack Tacke Berg

Así, pues, hacia 1925, la búsqueda de los elementos había descubierto ochenta y ocho, de los cuales ochenta y uno eran estables y siete radiactivos. Sólo faltaban cuatro: los números 43, 61, 85 y 87.

En la década siguiente, varios cazadores pensaron haber encontrado uno u otro de estos elementos. Pero sus alegaciones demostraron ser erróneas. Los últimos cuatro disidentes eludieron su descubrimiento hasta la llegada de lo que llamamos «la era atómica».

CAPAS DEL ELECTRÓN

Mientras el danés Niels Bohr resolvía el secreto de la tabla periódica, Mendéleiev, naturalmente, no tenía ni idea de por qué los elementos encajaban en períodos, hileras y cómodos grupos familiares. Generaciones de químicos habían tratado de encontrar la explicación. Bohr descubrió la respuesta en la disposición de los electrones de los átomos.

Obtuvo su información de las gráficas espectrales de los elementos. Sus pautas de líneas espectrales le sugirieron que los electrones que daban vueltas en torno del núcleo de un átomo, estaban confinados a ciertas órbitas definidas o «capas». Sólo había espacio para cierto número de electrones en cada capa. La primera capa podía contener dos electrones. Así, el hidrógeno, con un electrón, y el helio, con

dos, poseía una simple capa de electrones. Una vez quedaba cubierta esta capa, la adición de más electrones formaba una segunda capa que contenía hasta seis electrones. Y esto podía decirse también de los siguientes seis elementos. Luego venía una tercera capa con espacio para ocho electrones. Y así sucesivamente.

¡Y con qué exactitud se adaptaba todo esto a la tabla periódica...! Cada capa representaba un período. En lo que se refería a las hileras, cada una de ellas se caracterizaba por el hecho de que todos los elementos de la misma tenían el mismo número de electrones en la última capa, o capa exterior.

El número de electrones en esta capa más exterior es el factor más importante para determinar el comportamiento químico de un elemento. Fija la valencia del elemento y determina cómo el elemento puede combinar con los otros elementos.

Echemos un vistazo a la hilera la. El hidrógeno posee un electrón. El siguiente elemento en la hilera, el litio (número atómico 3) tiene tres electrones: dos en la primera capa y uno en la segunda. El siguiente, el sodio (número atómico 11), posee once electrones: dos en la primera capa, ocho en la segunda y uno en la tercera. Lo mismo se cumple con los demás elementos de la hilera la: el potasio tiene un electrón en su capa exterior (la cuarta), lo mismo que el rubidio (en la quinta capa) y el cesio (en la sexta capa). La afinidad química de estos elementos se manifiesta en el hecho de que, con excepción del hidrógeno (un elemento que en muchas formas es único), todos ellos forman una familia: la de los metales alcalinos.

De modo semejante, todos los elementos alcalinotérreos —berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario y radio—, poseen en común la presencia de dos electrones en su capa más exterior. Siete electrones en la capa exterior caracterizan a los halógenos: flúor, cloro, bromo y yodo (todos en la hilera VIIb). Una rellena capa exterior, que contiene ocho electrones, es característica de los gases inertes: neón, argón, criptón, xenón y radón. Y lo mismo sucede en las otras hileras.

El modelo de Bohr de las capas de electrones se ha modificado posteriormente: ocurrió que cada capa estaba dividida en sub-capas. Esto ayudaba a explicar algunas rarezas: los casos de la afinidad química que parecían contradecir la teoría de la capa de electrones. Por ejemplo, el hierro, el cobalto y el níquel poseen la misma valencia y son químicamente diferentes, a pesar de que contienen,

respectivamente, 26, 27 y 28 electrones. ¿Cómo pueden tener el mismo número de electrones en la capa exterior cuando cada uno de ellos sólo posee un electrón más que el precedente? La respuesta es que los sucesivos electrones no se añaden a la capa más exterior, sino a la sub-capa debajo de ésta. De este modo, las tres capas exteriores son iguales en los tres casos.

Esto constituye un rasgo general de los elementos más pesados de la tabla periódica. Mientras aumenta el número atómico, los electrones no se añaden en un orden estrictamente regular, llenando cada capa antes de comenzar la siguiente. Algunos pueden ir a una nueva capa exterior mientras la de debajo aún tiene huecos. En realidad, pueden quedar agujeros en una capa dos niveles por debajo de la más exterior. Así, en un determinado momento, electrones adicionales comienzan a rellenar los huecos en las capas interiores, en vez de dirigirse a la capa exterior.

Esto es lo que sucede en la serie de los elementos de tierras raras. En esos catorce elementos, cada sucesivo electrón se añade a la capa situada dos niveles por debajo. Por ello, los catorce elementos tienen el mismo número de electrones en su capa más exterior. El electrón añadido, y que distingue a cada elemento del siguiente, está enterrado tan profundamente que ejerce un efecto muy pequeño sobre el comportamiento químico. Ésta es la razón de por qué los catorce elementos de tierras raras, que comienzan con el lantano, sean tan parecidos.

Capítulo 16
Los Elementos Artificiales

El hombre al fin había comprendido suficientemente bien los elementos como para hacerlos propios. En el siglo xx, el hombre se convirtió en un alquimista que sabía lo que estaba haciendo... hasta cierto punto...

En primer lugar, quedaba pendiente lo de aquellos cuatro elementos que aún estaban ausentes de la tabla periódica. El hecho era que, prácticamente, también habían desaparecido de la Naturaleza. Los científicos tuvieron que hacer ellos mismos aquellos elementos para poder estudiarlos.

Como ya hemos mencionado, en 1919, Ernest Rutherford cambió el nitrógeno en oxígeno bombardeando átomos de nitrógeno con partículas alfa. Esto sugirió que lo que había que hacer para alterar un elemento artificialmente, era añadir o sustraer partículas de su núcleo.

Así, pues, el primer isótopo completamente nuevo y artificial fue producido con ayuda del método de Rutherford. Sus creadores fueron Irene Curie, la hija de los famosos Marie y Pierre, y su marido Frédéric Joliot. (Para perpetuar el apellido Curie, Joliot se cambió el suyo en Joliot-Curie, una vez casado con Irene.

Los Joliot-Curie bombardearon aluminio con partículas alfa. Su ataque transformó parte de los átomos de aluminio en una sustancia altamente radiactiva. Esto demostró ser una nueva clase de fósforo. Su peso atómico era de 30, en lugar de 31, que es el del fósforo natural. (Como el descubrimiento del neutrón iba a mostrar más tarde, el núcleo del fósforo 30 tiene 15 neutrones en vez de los. 16 del fósforo natural.)

No era de extrañar que el fósforo 30 no se presentase en la Naturaleza; su vida media era sólo de dos minutos y medio... A todos los eventos, los Joliot-Curie habían producido «radiactividad artificial» por primera vez. Irene, al igual que su madre antes que ella, recibió el premio Nobel de Física, en 1935, junto con su marido.

RELLENANDO LOS ÚLTIMOS HUECOS

La era de la transmutación artificial comenzó realmente con la fabricación del primer «aplasta-átomos» —el ciclotrón—, por Ernest Orlando Lawrence, de la Universidad de California, en 1931. Con el ciclotrón, y con el enormemente más enérgico acelerador de partículas, desarrollado más tarde, se hizo posible abrir los núcleos de cada átomo, para añadirle partículas e incluso crear también partículas nuevas.

El primer elemento producido de esta forma fue el perdido elemento número 43. Se realizó en 1925, por Noddack, Tacke y Berg, los descubridores del renio. Denominaron a este nuevo elemento número 43 «masurio» (por un distrito de la Prusia Oriental). Pero nadie más fue capaz de encontrar el «masurio» en el mismo material de origen, por lo que el supuesto descubrimiento quedó en el aire. En realidad, se trató sólo de un error. En 1937, Emilio Gino Segrè, de Italia, un ardoroso caza-elementos, identificó al auténtico número 43.

Lawrence había bombardeado una muestra de molibdeno (elemento número 42) con protones acelerados en su ciclotrón. Finalmente, consiguió un poco de materia radiactiva, la cual envió a Segrè, en Italia, para su análisis. Segrè y un ayudante, C. Perrier, rastrearon parte de la radiactividad hasta un elemento que se comportaba parecidamente al manganeso. Dado que el elemento número 43 que faltaba pertenece a una vacante, en la tabla periódica, próximo al manganeso, estaban seguros que se trataba de éste.

Pero resultó que el elemento número 43 tenía varios isótopos. Y cosa rara, todos ellos eran radiactivos. En este elemento no existían isótopos estables...

Esto resultaba sorprendente. Cada otro elemento hasta el bismuto (número 83) tenía, por lo menos, un isótopo estable. Nadie podía entender por qué un elemento, con un número atómico tan bajo como el 43, tenía sólo formas radiactivas.

De todos modos, los hechos eran los hechos... El elemento 43 es, en efecto, totalmente inestable. Su isótopo de vida más larga, con un número másico de 99, poseía una vida media de poco más de 200.000 años. Por ello, todos los elementos que hubiesen podido formarse de forma originalmente natural, debían de haberse ya descompuesto al principio de la historia de nuestro planeta, que tiene una antigüedad de varios miles de millones de años.

Segrè llamó al elemento número 43 «tecnecio», de una palabra griega que significaba «artificial», porque se trataba del primer elemento fabricado por el hombre.

El siguiente de los elementos que quedaban por descubrir, fue el número 87. Éste se ha descubierto en la Naturaleza. En 1939, Marguerite Perey, una química francesa, encontró un nuevo tipo de radiación entre los productos de la desintegración radiactiva del actinio. La radiación demostró pertenecer a un elemento que se comportaba de igual forma que un metal alcalino. Por lo tanto, debía de ser el elemento número 87, el miembro perdido de la familia de los alcalinometales. Marguerite Perey lo denominó «francio».

La cantidad de francio que encontró fue sólo de una ligera traza. El elemento se obtuvo más tarde artificialmente con un acelerador, y sólo entonces los químicos pudieron disponer de material suficiente para realizar su detallado estudio. Por dicha razón, el francio, por lo general, es considerado uno de los elementos artificiales.

Fue de nuevo Segrè quien detectó el siguiente de los elementos que faltaban. Abandonó la Italia fascista, en 1938, y pasó a trabajar en el «Laboratorio de Radiación», de la Universidad de California. Con dos colegas de allí, D. R. Corson y K. R. Mackenzie, bombardeó bismuto con partículas alfa. Esta maniobra tuvo éxito al añadir a la partícula alfa dos protones del núcleo del bismuto, formando el elemento 85. Dado que el nuevo elemento carecía de elementos estables, se le denominó «astatinio», de una palabra griega que significa «inestable». Más tarde, se encontraron en la Naturaleza trazas de astatinio, como un producto de descomposición del uranio.

Así, pues, en 1940, tres de los cuatro últimos huecos habían quedado rellenados. El elemento que aún faltaba en la tabla de 92 elementos era el número 61. Y éste salió a luz de una manera enteramente distinta. No se produjo de una forma deliberada, sino como un resultado más del descubrimiento de la fisión nuclear.

Después que Chadwick encontrara el neutrón, en 1932, los físicos se percataron al instante de que constituía un precioso instrumento para la investigación de los núcleos atómicos y tal vez para formar nuevos elementos. Como partícula sin carga, no sería repelida por los núcleos cargados positivamente.

Uno de los primeros en empezar a bombardear núcleos con neutrones fue el gran físico italiano Enrico Fermi. A mediados de la década de 1930, Fermi y sus colegas de Roma llevaron a cabo muchos experimentos con neutrones. Entre otras cosas bombardearon uranio con partículas alfa, con la esperanza de crear elementos más allá del uranio. Creían que sucedería algo así al hacer esto, pero no pudieron demostrarlo. En realidad, consiguieron algunos productos que les desconcertaron a ellos y a los demás físicos durante varios años.

El resultado de este misterio constituye ahora una historia familiar: cómo Otto Hahn, en Alemania, descubrió que uno de estos productos era el bario, un elemento de sólo la mitad de peso que el uranio; cómo su antiguo compañero, Lise Meitner, que había escapado a Suecia huyendo de los nazis, llegó a convencerse de que el bombardeo del neutrón había escindido el átomo del uranio en dos («fisión del uranio»), y se apresuró a publicar su revolucionaria conclusión; cómo Fermi y otros físicos., muchos de ellos refugiados en Estados Unidos huyendo de las dictaduras europeas, llegaron al fin a producir una fisión de reacción en cadena y la bomba atómica.

El punto que nos interesa aquí es el de que la fisión del uranio produjo docenas de diferentes «productos de fisión», muchos de ellos nuevos isótopos que no habían sido conocidos anteriormente. Y, en 1948, tres químicos del «Oak Ridge National Laboratory» —J. A. Marinsky, L. E. Glendenin y C. D. Coryell— encontraron el elemento número 61 entre los productos de fisión. Tal y como los químicos habían sospechado, todos los isótopos del elemento demostraron ser radiactivos; el más longevo tenía una vida media de sólo 30 años. No era de extrañar que no hubiese sido encontrado en la Naturaleza...

Los descubridores llamaron a este elemento «promecio», por Prometeo dado que había sido creado en el cálido fuego del horno nuclear.

Y así quedó cubierto el último hueco de la tabla periódica. Pero el promecio no constituyó el final de la búsqueda de los elementos.

MÁS ALLÁ DEL 92

A fin de cuentas, el noventa y dos no era el límite. Fermi, que pensó que había construido el elemento número 93 y lo denominó «uranio X», no se había

equivocado del todo. Su mezcla de productos del bombardeo del uranio incluía al elemento 93, aunque no pudo identificarlo.

En 1940, Edwin M. McMillan, de la Universidad de California, descubrió trazas de un elemento en los neutrones bombardeados del uranio, que pensó que debería tratarse del número 93. ¿Qué clase de elemento sería? En el séptimo período de la tabla periódica, el actinio (elemento 89) era conocido por ser químicamente similar al lantano. ¿Significaba esto que comenzaba una segunda serie de elementos de tierras raras, como las del lantano siguiente? Y si era así, el actinio, el torio, el protactinio, el uranio y el elemento 93 serían todos metales de tierras raras.

La química de estos elementos no era muy bien conocida en aquella época. La única cosa con la que los químicos debían proseguir, consistía en que alguna de las propiedades del uranio parecían asemejarse a las del tungsteno. Esto significaría que el uranio no era una tierra rara. Y si el uranio seguía a continuación del tungsteno en la tabla, entonces el elemento 93 sería parecido al renio, el elemento que seguía al tungsteno en el sexto período.

McMillan pidió a Segrè que analizase su muestra de «elemento 93». Segrè averiguó que no se parecía al renio, sino que era más bien una tierra rara.

McMillan y su ayudante, Philip Abelson, muy pronto estableció que su sustancia era definitivamente el elemento número 93. McMillan lo llamó «neptunio», por Neptuno, el planeta más allá de Urano, del que el uranio había recibido su nombre.

McMillan tuvo que abandonar su trabajo a causa de la guerra y dejó sus investigaciones a cargo de Glenn Theodore Seaborg, en California. Seaborg muy pronto descubrió que el neptunio radiactivo daba origen a otro elemento nuevo: el número 94. Cuando el neptunio se desintegraba, emitía un electrón de su núcleo, y uno de sus neutrones se cambiaba a protón. Esto elevó el número de protones de 93 a 94, por lo que se convirtió en un nuevo elemento. El elemento fue denominado «plutonio», por Plutón, el planeta situado más allá de Neptuno.

Tanto el neptunio como el plutonio se comportaban químicamente igual que las tierras raras, confirmando el que los elementos que comenzaban con el actinio deberían formar una segunda serie de tierras raras. Para distinguir a las dos series, el primer grupo (que comenzaba con el lantano) fue conocido como los «lantánidos», y el segundo grupo como los «actínidos».

El isótopo del neptunio de vida más larga, con un número másico de 237, tenía una vida media de un poco más de dos millones de años. Ya no quedaba ninguna traza detectable del neptunio originariamente presente en la tierra. Pero pequeñas cantidades del mismo debían de formarse, continuamente, a través de los neutrones de rayos cósmicos que incidían sobre el uranio en el suelo y en las rocas. Efectivamente, trazas de estos elementos han sido detectadas en las menas de uranio.

Si el neptunio y el plutonio podían fabricarse artificialmente, ¿por qué no producir más elementos transuránicos? Bajo la dirección de Seaborg, el grupo de California estableció un programa sistemático para ver cuán lejos podían llegar. Bombardearon cada elemento transuránico, sucesivamente, hasta formar otros con números atómicos superiores. El trabajo no resultaba sencillo, y se hacía más difícil de un elemento a otro. Las vidas medias de los sucesivos elementos eran cada vez más y más cortas, y, por tanto, resultaba cada vez más difícil recoger suficiente cantidad de cada elemento para poder fabricar el siguiente.

En 1944, Seaborg y dos de sus ayudantes, R. A. James y L. O. Morgan, tuvieron éxito en conseguir el elemento 95 al bombardear el uranio con partículas alfa. Dado que el 95 se parecía al europio en la primera serie de tierras raras, lo denominaron «americio», por América.

Más avanzado aquel año, Seaborg, James y A. Ghiorso rastrearon el elemento 96, esta vez bombardeando el plutonio con partículas alfa. Como colega del tierras raras gadolinio (llamado así por el cazador de elementos Gadolin), el número 96 fue denominado «curio», por los Curie.

En 1949, Seaborg, Ghiorso y S. G. Thompson anunciaron que, tras bombardear el americio con partículas alfa, habían formado el elemento 97. Al año siguiente, esos tres operarios y K. Street fabricaron el número 98 al bombardear el curio con partículas alfa. En honor del lugar en que estos elementos se estaban descubriendo, los números 97 y 98, respectivamente, fueron llamados «berquelio» (por Berkeley, la ciudad universitaria) y «californio».

TABLA 23

LOS ELEMENTOS ARTIFICIALES

ELEMENTO	SÍMBOLO	NÚMERO ATÓMICO	AÑO DE SU DESCUBRIMIENTO	DESCUBRIDOR
Tecnecio	Tc	43	1937	Segrè Perrier
Francio	Fr	87	1939	Perey
Astatino	At	85	1940	Corson Mackenzie Segrè
Neptunio	Np	93	1940	McMillan Abelson
Plutonio	Pu	94	1940	McMillan Seaborg
Americio	Am	95	1944	Equipo norteamericano
Curio	Cm	96	1944	Equipo norteamericano
Promecio	Pm	61	1948	Equipo norteamericano
Berquelio	Bk	97	1949	Equipo norteamericano
Californio	Cf	98	1950	Equipo norteamericano
Einsteinio	Es	99	1955	Equipo norteamericano
Fermio	Fm	100	1955	Equipo norteamericano
Mendelevio	Md	101	1955	Equipo norteamericano
Nobelio	No	102	1957	Equipo norteamericano
Laurencio	Lw	103	1961	Equipo norteamericano

Los siguientes elementos aparecieron tras la terrorífica explosión de la primera bomba de hidrógeno, en 1952. En los restos de la explosión, los científicos detectaron trazas de lo que parecían ser los elementos 99 y 100. Dichos elementos fueron más tarde obtenidos en el laboratorio y anunciados en 1955.

TABLA 24

LA TABLA PERIODICA ACTUAL

	Primer período	Segundo período	Tercer período	Cuarto período	Quinto período	Sexto período	Séptimo período
hilera I a	1—Hidrógeno	3—Litio	11—Sodio	19—Potasio	37—Rubidio	55—Cesio	87—Francio *
hilera II a		4—Berilio	12—Magnesio	20—Calcio	38—Estroncio	56—Bario	88—Radio *
hilera III a				21—Escandio	39—Itrio	57—Lantano 58—Cerio 59—Praseodimio 60—Neodimio 61—Promecio * 62—Samario 63—Europio 64—Gadolinio 65—Terbio 66—Disprosio 67—Holmio 68—Erbio 69—Tulio 70—Iterbio 71—Lutecio	89—Actinio * 90—Torio * 91—Protactinio * 92—Uranio * 93—Neptunio * 94—Plutonio * 95—Americio * 96—Curio * 97—Berkelio * 98—Californio * 99—Einstenio * 100—Fermio * 101—Mendelevio 102—Nobelio * 103—Laurencio *
hilera IV a				22—Titanio	40—Circonio	72—Hafnio	
hilera V a				23—Vanadio	41—Niobio	73—Tantalio	
hilera VI a				24—Cromo	42—Molibdeno	74—Tungsteno	
hilera VII a				25—Manganeso	43—Tecnecio *	75—Renio	
hilera VIII a				26—Hierro 27—Cobalto 28—Níquel	44—Rutenio 45—Rodio 46—Paladio	76—Osmio 77—Iridio 78—Platino	
hilera I b				29—Cobre	47—Plata	79—Oro	
hilera II b				30—Cinc	48—Cadmio	80—Mercurio	
hilera III b		5—Boro	13—Aluminio	31—Galio	49—Indio	81—Talio	
hilera IV b		6—Carbono	14—Silicio	32—Germanio	50—Estaño	82—Plomo	
hilera V b		7—Nitrógeno	15—Fósforo	33—Arsénico	51—Antimonio	83—Bismuto	
hilera VI b		8—Oxígeno	16—Azufre	34—Selenio	52—Telurio	84—Polonio *	
hilera VII b		9—Flúor	17—Cloro	35—Bromo	53—Yodo	85—Astatinio *	
hilera 0	2—Helio	10—Neón	18—Argón	36—Criptón	54—Xenón	86—Radón *	

* Radiactivo

Al bautizarles, los descubridores decidieron conmemorar a Albert Einstein y a Enrico Fermi; el elemento 99 fue denominado «einstenio» y el número 100 se llamó «fermio».

En 1955, un equipo de químicos, entre los que se incluían Seaborg y Chiorso, bombardearon el einstenio con partículas alfa y produjeron unos cuantos átomos del elemento número 101. El mismo, al fin, fue denominado «mendelevio», en honor de Mendéleiev.

En 1957, los equipos de químicos de los Estados Unidos, Gran Bretaña y Suecia, informaron del aislamiento del elemento número 102. Debido a que parte de la tarea se había llevado a cabo en el «Instituto Nobel», en Estocolmo, fue denominado «nobelio».

En 1961, un equipo norteamericano obtuvo el elemento 103 y sugirió que se llamase «laurencio», por Lawrence, el inventor del ciclotrón.

El laurencio acabó de redondear la serie de tierras raras. Los científicos siguieron en busca del elemento 104, esperando confiadamente que se pareciese al hafnio, el primer elemento después de los lantánidos.

En la tabla 23 relacionamos los elementos artificiales. Naturalmente, todos ellos son radiactivos. No podemos asignarles verdaderos pesos atómicos porque no se presentan en la Naturaleza y no es conocido todavía ninguno de sus posibles isótopos.

Así, pues, en el momento en que se escribe este libro, la lista de elementos conocidos asciende a 103. Su disposición en la tabla periódica se muestra en la tabla 24. (Por lo general, la tabla periódica se escribe con los períodos transcritos horizontalmente y las hileras de una forma vertical, pero lo hemos hecho de otra manera, con el fin de tener espacio para escribir los nombres completos de los elementos, en vez de sólo sus símbolos.

Epílogo

La búsqueda de los elementos está a punto de completarse, excepto, posiblemente, algunas trazas volátiles de sustancias más allá del laurencio, y que el hombre puede aún conseguir preparar. Pero Tales sigue aguardando respuesta a su pregunta: ¿De qué está hecho el Universo?

Al parecer, los elementos están hechos de protones, neutrones y electrones. Hace una generación esto fue lo ofrecido como última respuesta a Tales. Pero, en los últimos treinta años, esta clara y nítida solución se ha evaporado como delgada voluta de humo. Los físicos, al investigar los protones, neutrones y electrones, en una forma que incluye algunas operaciones un tanto violentas, han dejado escapar una asombrosa y desconcertante multitud de más partículas. Hasta hoy, se han descubierto unas treinta partículas subatómicas diferentes, y han sido etiquetadas con nombres de toda especie, como mesón, neutrino, K, lambda, sigma y xi. Así que los científicos continúan luchando heroicamente con la misma antigua pregunta, pero de una nueva forma:

¿De qué están hechas las partículas subatómicas?

Los misterios del Universo y las preguntas que los científicos se han esforzado por responder, están tocando a su final. Debemos estar agradecidos por todo ello. Un Universo en el que no existiesen misterios para que los hombres curiosos pudiesen reflexionar acerca de ellos, sería, en realidad, un Universo muy insulso.